

# IO1 Moduł 2

## "Ponowne wykorzystanie wody z oczyszczalni ścieków".

Przez Uniwersytat Rovira i Virgili



Substance of circular Economy concept as Efficacious  
Determinant for the development of Successful entrepreneurship

2020-1-ES01-KA202-083137



## Spis treści

Ponowne wykorzystanie wody z oczyszczalni ścieków .....	2
1. Wprowadzenie .....	2
2. Gospodarka cyrkulacyjna a oczyszczalnie ścieków .....	3
2.1 Jakie są główne procesy oczyszczania ścieków? .....	4
3. Innowacje i gospodarka cyrkulacyjna w oczyszczalniach ścieków: Wyzwania i bariery. 6	
3.1 Stosowanie biosolidów w glebie .....	7
3.2 Odzysk substancji odżywczych .....	10
3.3 Woda odzyskana .....	12
3.4 Odzysk energii .....	17
4. Studia przypadków .....	19
Studium przypadku nr 1: Od ścieków do wody rolniczej - innowacyjna technologia łącząca oczyszczanie i ponowne wykorzystanie w rolnictwie .....	20
Studium przypadku nr 2: Zaawansowana technologia oczyszczania ścieków w celu usuwania niebezpiecznych zanieczyszczeń organicznych .....	22
Studium przypadku nr 3: Procesy oszczędzania wody w produkcji tekstyliów .....	24
5. Quiz.....	26
Referencje .....	28



## Ponowne wykorzystanie wody z oczyszczalni ścieków

### 1. Wprowadzenie

Obecnie stoimy w obliczu wielu wyzwań związanych z zaopatrzeniem w zasoby i asymilacją odpadów. Aby im sprostać, w europejskim dyskursie politycznym mówi się o zastosowaniu gospodarki cyrkulacyjnej i wzywa do skupienia się na innowacjach w odniesieniu do biznesu, a zwłaszcza przemysłu. Oczyszczalnie ścieków (WWTP) mogą stanowić ważny element zrównoważonego rozwoju cyrkularnego ze względu na integrację produkcji energii i odzyskiwania zasobów podczas produkcji czystej wody. W najbliższej przyszłości oczyszczalnie ścieków mają stać się "ekologicznie zrównoważonymi" systemami technologicznymi. W ostatnim czasie znacznie wzrosła liczba inicjatyw i nowych przedsięwzięć związanych z gospodarką cyrkularną.

W tym module zajmiemy się jednym z głównych wyzwań w dziedzinie oczyszczania ścieków: przekształcaniem ścieków w inne zasoby poprzez inicjatywy promujące gospodarkę cyrkulacyjną.

Celem tego modułu jest przedstawienie zastosowania nowych koncepcji i technologii w celu poprawy długoterminowego zrównoważonego rozwoju gospodarki ściekowej. Przedstawiono innowacyjne doświadczenia związane z zastosowaniem gospodarki cyrkulacyjnej w dziedzinie gospodarki ściekowej, aby poszerzyć wiedzę przedsiębiorców i początkujących firm oraz zainspirować ich do ich stosowania.

W tym module przedstawiamy wspólne podejścia do inicjatyw związanych z gospodarką cyrkularną i ściekami, badamy obszary wspólnych możliwości oraz to, w jaki sposób zastosowanie idei gospodarki cyrkularnej może wygenerować większą wartość. Wskazujemy również projekty, podejścia i cele, które są zgodne zarówno z zasadami zrównoważonej gospodarki wodnej, jak i gospodarki cyrkularnej.

Do końca tego modułu nauczysz się:

- Zasady gospodarki cyrkulacyjnej i oczyszczalni ścieków
- Główne procesy oczyszczania ścieków
- Zastosowanie gospodarki cyrkulacyjnej w oczyszczalni ścieków: wyzwania i bariery
- Na końcu modułu zamieściliśmy 3 studia przypadków, które zostały poddane bardziej szczegółowej analizie.

Aby w pełni zrozumieć ten moduł, zalecamy posiadanie pewnej wcześniejszej wiedzy na ten temat.



## 2. Gospodarka cyrkulacyjna i oczyszczalnie ścieków

W "Agendzie 2030" Organizacji Narodów Zjednoczonych określono powszechny dostęp do czystej wody jako jeden z celów zrównoważonego rozwoju i zachęcono rządy do budowy oczyszczalni ścieków (WWTP) w celu poprawy jakości wody i zapewnienia dostępu do wody pitnej ludziom borykającym się z poważnymi problemami związanymi z wodą. Zasoby wodne na całym świecie są coraz bardziej zanieczyszczone z powodu braku ścisłych regulacji dotyczących usuwania odpadów przez przemysł. Zakłady przemysłowe i fabryki, które usuwają odpady przemysłowe, metale ciężkie, barwniki, substancje organiczne, bakterie i materiały toksyczne do zasobów wodnych, powodują dalsze zanieczyszczenie wody.

### Zasady gospodarki cyrkulacyjnej

Aby rozważyć jakąkolwiek inicjatywę związaną z gospodarką cyrkulacyjną, należy wskazać na korelację pomiędzy gospodarką cyrkulacyjną a oczyszczaniem ścieków. Aby pomóc przedsiębiorcom w skupieniu się na przejściu na gospodarkę cyrkularną i opracowaniu rozwiązań wspólnie z ekspertami w dziedzinie systemów wodnych, konieczne jest wspólne zrozumienie kluczowych pojęć.

Gospodarka cyrkulacyjna obejmuje działania, które zachowują wartość w postaci energii, pracy i materiałów. Gospodarka cyrkulacyjna powstaje głównie poprzez trzy główne "działania", czyli tzw. zasady 3R: Redukcja, Ponowne wykorzystanie i Recykling.

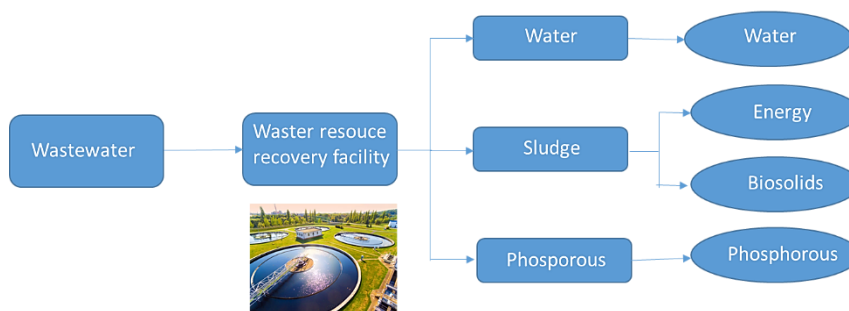
- 1) Zasada **redukcji ma na** celu zminimalizowanie zużycia energii pierwotnej, surowców i odpadów poprzez poprawę efektywności procesów produkcyjnych (tzw. efektywność) i konsumpcyjnych, np. poprzez wprowadzenie lepszych technologii w oczyszczalniach ścieków.
- 2) Zasada **ponownego wykorzystania** odnosi się do "wszelkich działań, w wyniku których produkty lub komponenty są ponownie wykorzystywane do tego samego celu, do którego zostały stworzone". Na przykład niedobory wody w regionach jałowych i półsuchych doprowadziły do ponownego wykorzystania wody jako alternatywnego źródła zaopatrzenia w wodę w niektórych częściach świata.
- 3) Zasada recyklingu odnosi się do "wszelkich procesów odzysku, w ramach których materiały odpadowe są ponownie przetwarzane na produkty, materiały lub substancje, zarówno do celów pierwotnych, jak i innych". Na przykład recykling osadów z oczyszczalni ścieków daje możliwość korzystania z zasobów, które można jeszcze wykorzystać, oraz zmniejszenia ilości odpadów, które trzeba przetworzyć i unieszkodliwić, a tym samym zmniejszenia związanego z tym oddziaływania na środowisko.

W ramach projektu WWTP do **zasad 3R** można dodać **trzy dodatkowe zasady** opracowane przez Fundację Ellen MacArthur [1]:

- 1) **Zasada właściwego projektowania** podkreśla znaczenie etapu projektowania w poszukiwaniu rozwiązań pozwalających uniknąć odpadów i zanieczyszczeń. Zasadę tę stosuje się w oczyszczalniach ścieków, optymalizując ilość energii, minerałów i chemikaliów wykorzystywanych w systemach operacyjnych.
- 2) **Utrzymywanie zasobów w użyciu** oznacza optymalizację wydajności zasobów oczyszczalni ścieków (wykorzystanie i ponowne użycie wody, energii, odzyskiwanie substancji odżywczych i chemikaliów). Na przykład:
  - **Optymalizacja pozyskiwania energii lub zasobów** z systemu wodnego,

- **Maksymalizacja ponownego wykorzystania.** Zgodnie z obowiązującymi przepisami krajowymi na całym świecie, cele ponownego wykorzystania są zróżnicowane - od rolniczych, przemysłowych, miejskich, rekreacyjnych, środowiskowych, aż po spożycie przez ludzi. Obecnie około 80% ścieków jest odprowadzanych do światowych dróg wodnych bez jakiegokolwiek oczyszczania.
  - **Optymalizacja wartości generowanej na styku systemu wodnego** (waloryzacja osadów ściekowych) z innymi systemami, takimi jak rolnictwo i inne zastosowania,
  - **Odzyskiwanie składników odżywczych** ze ścieków i ich wykorzystanie jako nawozów.
- 3) **Regeneracja kapitału naturalnego** - Zasada ta opiera się na fakcie, że musimy nie tylko chronić środowisko, ale także aktywnie je ulepszać. W tym celu należy:
- zachowanie i wzmocnienie kapitału naturalnego (np. zapobieganie zanieczyszczeniom, jakość ścieków itp.), oraz
  - Zapewnienie minimalnych zakłóceń naturalnych systemów wodnych wynikających z interakcji człowieka i jego użytkowania.

#### WASTE WATER AND CIRCULAR ECONOMY



Źródło: Own illustration

#### 2.1 Jakie są główne procesy oczyszczania ścieków?

Oczyszczanie ścieków to procedura, w ramach której woda jest przetwarzana w taki sposób, aby mogła być bezpośrednio ponownie wykorzystana lub odprowadzona do obiegu wodnego przy minimalnym negatywnym wpływie na środowisko. Ścieki są pełne zanieczyszczeń, w tym bakterii, substancji chemicznych i innych toksyn. Ich oczyszczanie ma na celu zmniejszenie ilości zanieczyszczeń do dopuszczalnych poziomów, aby woda mogła być bezpiecznie odprowadzana z powrotem do środowiska. Procesy oczyszczania ścieków są następujące:



## Procesy obróbki fizycznej/chemicznej

W procesach fizycznych cząstki **stałe są usuwane** ze ścieków w trakcie ich przepływu przez sita (lub wkłady filtracyjne) albo w procesie osadzania grawitacyjnego lub flotacji powietrznej. Cząstki stałe są wtedy zatrzymywane na powierzchni i mogą być usuwane. W oczyszczaniu ścieków można również stosować środki chemiczne, aby wywołać zmiany w zanieczyszczeniach, które zwiększą możliwość ich usunięcia. Zmiany mogą prowadzić do tworzenia przez substancje kłaczków lub cięższej masy cząstek, co ułatwia ich usuwanie w procesach fizycznych. Szlam - odpady stałe, które osadzają się na powierzchni zbiorników - jest usuwany przez duże zgarniacze i wypychany do środka cylindrycznych zbiorników, a następnie wypompowywany ze zbiorników do dalszego oczyszczania. Pozostała woda jest następnie pompowana do oczyszczania wtórnego (zwanego również procesem biologicznym).

## Procesy obróbki biologicznej

Procesy oczyszczania biologicznego (znane również jako *proces osadu czynnego*) to systemy wykorzystujące mikroorganizmy do **rozkładu zanieczyszczeń organicznych w ściekach**. Powietrze jest pompowane do zbiorników napowietrzających, w których ścieki są mieszane z mikroorganizmami, co powoduje rozprzestrzenianie się bakterii i innych drobnoustrojów, które pochłaniają pozostałe substancje organiczne. Mikroorganizmy metabolizują składniki odżywcze, koloidy i rozpuszczoną materię organiczną, w wyniku czego powstają oczyszczone ścieki. Nadmiar mikroorganizmów jest usuwany ze ścieków oczyszczonych za pomocą procesów fizycznych. Proces ten prowadzi do powstawania dużych cząstek, które osadzają się na dnie zbiorników (osad biologiczny).

## Postępowanie z bio-solidami

Substancje stałe, które osiadają po przejściu przez etapy oczyszczania pierwotnego i wtórnego, są kierowane do komór fermentacyjnych. Komory fermentacyjne są ogrzewane do temperatury pokojowej. Odpady stałe są następnie poddawane **fermentacji beztlenowej**. W trakcie tego procesu wytwarzany jest metan i powstają bogate w składniki odżywcze bio-stałe odpady, które są zawracane do obiegu i odwadniane przez lokalne firmy. **Gaz metanowy**, produkt uboczny procesu przetwarzania bio-solidów, jest zwykle wykorzystywany jako źródło energii w zakładach oczyszczania. Może być wykorzystywany do **produkcji energii elektrycznej** w silnikach lub po prostu do napędzania urządzeń w zakładzie. Gaz ten może być również wykorzystywany w kotłach do wytwarzania ciepła dla komór fermentacyjnych.

## Leczenie trzeciorzędowe

Na etapie oczyszczania trzeciorzędowego można usunąć ze ścieków do 99% zanieczyszczeń. Sposób oczyszczania zależy od końcowego przeznaczenia wody (pitna, rolnicza, przemysłowa itp.). W ten sposób powstaje woda, która prawie dorównuje jakości wody pitnej. Niestety, proces ten jest zazwyczaj nieco **kosztowny**, ponieważ **wymaga specjalistycznego sprzętu, środków chemicznych, stałego dopływu energii** oraz **dobrze wyszkolonych i wysoko wykwalifikowanych operatorów**.

## Dezynfekcja

Po zakończeniu procesów fizycznych/chemicznych i biologicznych w pozostałej części oczyszczonych ścieków nadal znajdują się mikroorganizmy. Aby je wyeliminować, ścieki muszą być dezynfekowane w zbiornikach zawierających mieszaninę **chloru** i **podchlorynu sodu**. Ścieki oczyszczone są następnie uwalniane do środowiska za pośrednictwem lokalnych dróg wodnych. Woda ta może być teraz wykorzystywana w przemyśle, do nawadniania i innych celów.

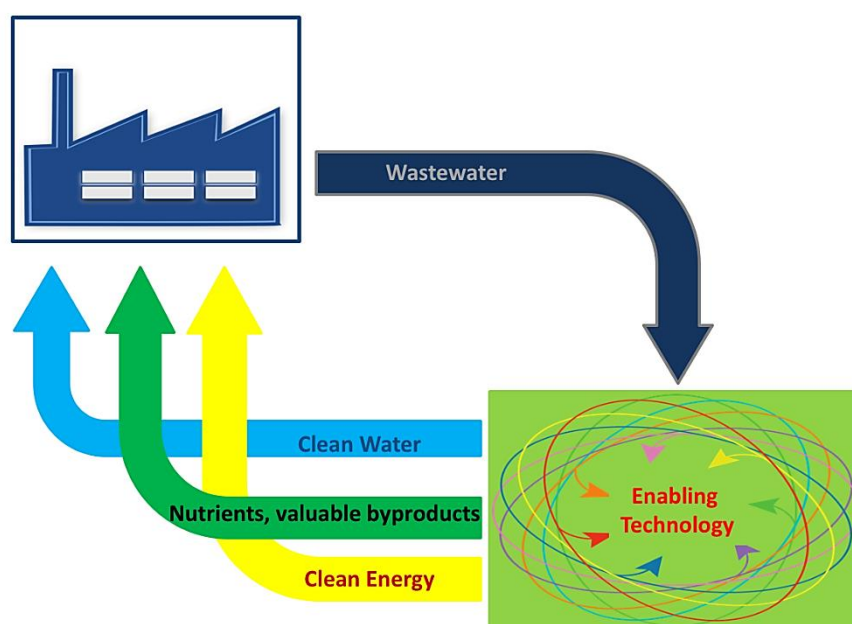


Source: <https://pixabay.com/images/search/wastewater%20treatment%20plant/>

### 3. Innowacje i gospodarka cyrkularna w oczyszczalniach ścieków: Wyzwania i bariery.

System wodny jest częścią systemów środowiskowych, rolniczych, przemysłowych i komunalnych. Wiedza o tym, jak te systemy są ze sobą połączone, ma kluczowe znaczenie dla identyfikacji możliwości gospodarki cyrkulacyjnej, które istnieją w systemie wodnym i innych powiązanych z nim systemach.

Oczyszczalnie ścieków (WWTP) mogą stanowić ważny element zrównoważonego rozwoju cyrkularnego ze względu na integrację produkcji energii i odzyskiwania zasobów podczas produkcji czystej wody [2, 3]. W niedalekiej przyszłości oczyszczalnie ścieków staną się "ekologicznie zrównoważonymi" systemami technologicznymi. Obecnie globalne zapotrzebowanie na składniki odżywcze oraz odzyskiwanie wody i energii ze ścieków dyktują rozwój przemysłu ściekowego [4-6]. Rysunek z witryny Cerahelix.com przedstawia obieg wody w modelu gospodarki cyrkulacyjnej:



Źródło: <https://www.cerahelix.com/news/treat-reuse-extract-create-and-repeat-the-circular-economy-explained-using-the-water-cycle-as-an-example/>

Aby sprostać wyzwaniu, jakim jest zmniejszenie zanieczyszczenia ścieków w obliczu wzrostu liczby ludności, zmian w procesach przemysłowych i rozwoju technologicznego, Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska (US EPA) stworzyła dokument, który ma na celu udostępnienie wszystkim informacji o najnowszych osiągnięciach i innowacyjnych technikach [7]. Cel dokumentu jest prosty: **zapewnienie przewodnika dla osób poszukujących informacji na temat innowacyjnych i pojawiających się technologii oczyszczania ścieków**. W przewodniku wymieniono nowe technologie, oceniono ich zalety i koszty, a także podano źródła do dalszych badań technologicznych. Dokument ten powinien służyć jako przewodnik dla właścicieli obiektów oczyszczania ścieków, operatorów, planistów i konsultantów.

W kolejnych rozdziałach przedstawiamy najważniejsze zasoby, które można pozyskać z oczyszczalni ścieków, oraz możliwości, jakie mają przedsiębiorcy, a także pokazujemy mocne i słabe strony tych procesów.

### 3.1 Stosowanie biosolidów w glebie

Biosolidy (osady ściekowe) składają się ze związków cennych dla rolnictwa (materia organiczna, azot, fosfor, potas i mikroskładniki odżywcze, takie jak wapń, siarka i magnez) oraz zanieczyszczeń, do których należą metale ciężkie, związki organiczne i patogeny. Choć mogą one być cennym zasobem, należy z nich korzystać z rozwagą. Często zawierają mikroorganizmy, które mogą przenosić choroby, zanieczyszczenia chemiczne lub inne niestabilne substancje.

Biosolidy mogą wzbogacać glebę i uzupełniać lub zastępować nawozy komercyjne. Biosolidy są stosowane w różnych miejscach, w tym na gruntach rolnych, w lasach, na terenach rekultywacji kopalni i innych terenach, w parkach i na polach golfowych. Stosowanie biosiarczanów w **glebie** ma znaczący pozytywny wpływ na **żyźność gleby**, zapewniając ich stosowanie w sposób bardziej





zrównoważony. Oprócz wysokiej wartości odżywczej, biosolidy poprawiają właściwości gleby (**kondycjonowanie gleby**) poprzez zwiększenie **zawartości materii organicznej w glebie, agregacji cząstek gleby, struktury i porowatości gleby** oraz zmniejszenie **gęstości nasypowej**.

Stosowanie osadów ściekowych w glebie jest powszechnie praktykowane w Europie i innych krajach [8]. Ryzyko związane ze stosowaniem biosolidów na gruntach rolnych zależy od pochodzenia ładunków zanieczyszczeń, które dostają się do oczyszczalni ścieków (ładunki komunalne lub przemysłowe). Główne problemy związane z takim składowaniem biosolidów to **kwestie zdrowia i bezpieczeństwa**, odór, uciążliwość i inne problemy publiczne. Ponadto nadmierne ilości składowanych odpadów mogą negatywnie wpływać na jakość wód gruntowych ze względu na **wyflukiwanie składników odżywczych**. Z tego powodu amerykańska Agencja Ochrony Środowiska (EPA) opracowała przewodnik dla podmiotów zajmujących się stosowaniem osadów na gruntach rolnych, oparty na normach federalnych dotyczących stosowania lub usuwania osadów ściekowych. Celem tego programu federalnego jest **zapewnienie, że osady ściekowe są wykorzystywane lub usuwane w sposób, który chroni zarówno zdrowie ludzi, jak i środowisko**. Część 503, Normy wykorzystania lub unieszkodliwiania osadów ściekowych, ustanawia ogólne wymagania, limity zanieczyszczeń, normy operacyjne i praktyki zarządzania, jak również częstotliwość monitorowania, prowadzenie dokumentacji i wymagania dotyczące sprawozdawczości dla osadów ściekowych, które są stosowane w glebie, umieszczane na powierzchniowych składowiskach odpadów lub spalane w spalarni osadów ściekowych [9].



### Zabiegi wymagane przed zastosowaniem biosolidów w glebie

Aby zachować zgodność z przepisami proponowanymi przez ustawodawcę, osady ściekowe muszą zostać poddane obróbce w oczyszczalniach ścieków (**odwodnione i ustabilizowane**) przed zastosowaniem w glebie w formie nawożenia lub rekultywacji. Procesy przetwarzania biosolidów przed ich zastosowaniem w glebie obejmują fermentację beztlenową lub tlenową, kompostowanie, suszenie i obróbkę chemiczną (głównie alkaliczną).

- **Fermentacja beztlenowa** (ogólnie) to naturalnie występujący proces biologiczny, w którym duża liczba bakterii beztlenowych przekształca **materię organiczną w metan i dwutlenek węgla** (mieszaninę zwaną **biogazem**). Proces ten stabilizuje materię organiczną w ściekach stałych, redukuje patogeny i nieprzyjemne zapachy oraz zmniejsza całkowitą ilość ciał stałych/osadu poprzez przekształcenie części frakcji lotnych ciał stałych (VS) w biogaz.
- **Fermentacja beztlenowa**. Proces ten można podzielić na trzy odrębne etapy, z których każdy jest realizowany przez inną grupę mikroorganizmów:
  - 1) **Hydroliza**, podczas której białka, celuloza, lipidy i inne złożone substancje organiczne są **rozbijane** na mniejsze cząsteczki i stają się **rozpuszczalne** dzięki wykorzystaniu wody do rozszczepienia wiązań chemicznych tych substancji.
  - 2) **Fermentacja lotnych kwasów**, podczas której produkty hydrolizy są przekształcane w kwasy **organiczne** poprzez biochemiczne procesy **acidogenezy** (gdzie monomery są przekształcane w kwasy tłuszczowe) i **acetogenezy** (kwasy tłuszczowe są przekształcane w kwas octowy, dwutlenek węgla i wodór).
  - 3) **Tworzenie metanu**, podczas którego kwasy organiczne powstałe podczas fermentacji są przekształcane w metan i dwutlenek węgla.
- **Kompostowanie**. Kompostowanie pozostałości ścieków jest **procesem bio-termiczno-tlenowym**, w którym część organiczna pozostałości ulega rozkładowi o około 25%. Przed kompostowaniem konieczne jest odwodnienie pozostałości. **Odwadnianie** nie tylko zmniejsza objętość nadmiaru, ale także zmniejsza ilość wilgoci, która odparuje pod wpływem ciepła wytworzonego w procesie **rozkładu organicznej części** pozostałości, a także stabilizuje ją i przekształca nadmiar w użyteczne biosolidy. Problemem związanym z kompostowaniem surowych pozostałości jest intensywniejszy zapach pozostałości z większym udziałem materiału organicznego. W celu kontrolowania zapachu można stosować różne metody. Na ogół zapach kontroluje się przez dodanie **wapna palonego** (CaO) w celu zmiany pH pozostałości. Jeśli nieprzyjemny zapach nadal stanowi problem, prostą procedurę polegającą na zasysaniu powietrza przez pryzmę kompostową i odprowadzaniu go do biofiltra można dodatkowo zredukować.
- **Suszenie**. Rodzaj i populacja mikroorganizmów zmienia się w trakcie procesu kompostowania. Dlatego bardzo ważne jest kontrolowanie środowiska kompostowania, aby mikroorganizmy mogły się rozwijać. Parametry środowiska kompostowania obejmują **temperaturę pryzmy kompostowej, zawartość wilgoci** w kompoście, **poziomy tlenu i dwutlenku węgla** w pryzmie kompostowej oraz **dostępność składników odżywczych**, w tym węgla, azotu, fosforu i potasu dla mikroorganizmów. Parametry te należy monitorować, ponieważ wpływają one na żywotność mikroorganizmów. Tlen jest dostarczany do pryzmy kompostowej przez wprowadzenie powietrza. Ilość dostarczanego powietrza zależy od zawartości wilgoci w stosie kompostowym. Im wyższa zawartość wilgoci, tym większa ilość powietrza jest wymagana. Należy utrzymywać minimalny poziom tlenu, a poziom dwutlenku węgla nie może przekroczyć poziomu maksymalnego.



Source: <https://pixabay.com/images/search/sewage%20sludge%20composting/>

### 3.2 Odzysk substancji odżywczych

Odzyskiwanie substancji odżywczych to praktyka polegająca na **odzyskiwaniu substancji odżywczych, takich jak azot i fosfor, ze strumieni zużytej wody, które w przeciwnym razie zostałyby wyrzucone**, i przekształcaniu ich w przyjazny dla środowiska nawóz do celów ekologicznych i rolniczych. Proces ten pomaga **oczyszczyć ścieki**, usuwając z nich składniki odżywcze i ostatecznie **przekształcając je w wydajny surowiec nadający się do ponownego wykorzystania**. Mając na uwadze te cele, w branży oczyszczania ścieków opracowano różne procesy pozwalające na optymalne odzyskiwanie tych składników odżywczych.

Proces odzyskiwania substancji biogenych daje gminom możliwość generowania przychodów, a jednocześnie zapewnia przedsiębiorstwom rolniczym rafinowany, użyteczny fosfor - zasób naturalny, którego jest coraz mniej. Co więcej, umożliwia to jednostkom oczyszczania ścieków pełnienie funkcji nie tylko oczyszczalni, ale także jednostek **odzyskujących zasoby**, co zmienia postrzeganie tradycyjnego oczyszczania ścieków. Recykling składników odżywczych z oczyszczalni ścieków ma zatem pozytywny wpływ na środowisko, ponieważ zmniejsza zapotrzebowanie na konwencjonalne nawozy kopalne, a w konsekwencji ogranicza zużycie wody i energii.

Odzyskiwanie składników odżywczych ze ścieków może być prowadzone ze ścieków **surowych, częściowo oczyszczonych** oraz **osadów ściekowych** (biosolidów) [10].

Obecnie **fosfor (P)** jest odzyskiwany w oczyszczalniach ścieków głównie metodami chemicznymi, takimi jak **proces krystalizacji struwitu**, np. w technologiach Pearl, NuReSys i AirPrex, które zostały wdrożone na pełną skalę [11]. Obecnie w Europie odzyskuje się technicznie ponad 2000 Mg P/rok [12]. Głównymi problemami związanymi z krystalizacją struwitu są **wysokie koszty chemiczne** oraz **niezamierzone tworzenie się struwitu**, który blokuje zawory, rury, pompy itp. Mimo że wysokie koszty operacyjne ograniczają ekonomiczną wykonalność odzyskiwania składników odżywczych, system ten może przynieść wiele innych korzyści. Na przykład, odzyskiwanie składników odżywczych ze ścieków może znacznie ograniczyć **produkcję osadów** i niepożądanych osadów, dzięki czemu



koszty utylizacji związane z nieoczekiwanymi substancjami mogą być lepiej kontrolowane lub nawet obniżone. Ponadto, odzyskiwanie składników odżywczych ze ścieków może poprawić **odwadnianie** oczyszczonych osadów i zmniejszyć szybkość osadzania się **kamienia**, co w obu przypadkach prowadzi do **poprawy gospodarki ściekowej** [14]. Odzysk substancji odżywczych może również **zmniejszyć stężenie amonu i fosforanu** w zrzucie ścieków z oczyszczalni, co zapobiega eutrofizacji środowisk wodnych. Jednak zarówno korzyści dla środowiska, jak i regulacje rządowe nie przyczynią się do odzyskiwania substancji biogenych, jeśli nie będzie wystarczających bodźców ekonomicznych.

#### Nowe technologie w odzyskiwaniu składników pokarmowych

Oprócz chemicznej metody odzyskiwania P z oczyszczalni ścieków (opisanej w poprzednim rozdziale) istnieją nowe technologie, które mogą być również stosowane do odzyskiwania składników odżywczych w oczyszczaniu ścieków i ich mechanizmy, w tym **technologie biologiczne, systemy membranowe i zaawansowane systemy membranowe**. Zostały one ostatnio podsumowane przez Ye et al [15].

Ci sami autorzy przedstawili również analizę ekonomiczną tych systemów odzyskiwania składników odżywczych, porównując je pod względem pozytywnych i negatywnych aspektów. Stwierdzili oni, że **membranowe technologie odzyskiwania składników odżywczych** są ekonomicznie i technicznie wykonalne. Szczególnie preferowane są **osmotyczne bioreaktory membranowe (OMBR)** i systemy **bioelektrochemiczne (BES)**, ze względu na niski potencjał zanieczyszczenia membran i niskie zużycie energii. W porównaniu z **hybrydowymi systemami aerobowymi OMBR**, systemy **anaerobowe OMBR (AnOMBR)** również charakteryzują się niskim zanieczyszczeniem membran i niskim zużyciem energii. Wyniki te opierają się jednak na nielicznych badaniach systemów opartych na AnOMBR; należy przeprowadzić więcej badań nad odzyskiwaniem składników odżywczych za pomocą hybrydowych systemów AnOMBR, aby w pełni potwierdzić ich zalety.

Ye i in. 2020 zwrócili uwagę, że **mikrobiologiczne ogniwa paliwowe (MFC)**, jako zaawansowana technologia odzyskiwania składników odżywczych, mogą **generować energię elektryczną** i oferować strefę wysokiego pH dla chemicznego strącania [15]. Technologia ta jest dość obiecująca dla odzyskiwania składników odżywczych. Dlatego MFC i jej modyfikacje powinny być szeroko badane w celu odzyskiwania składników odżywczych w oczyszczaniu ścieków.

W tym scenariuszu **osmoza wstępna (FO)**, **destylacja membranowa (MD)** i **elektrodializa (ED)** to trzy główne technologie membranowe stosowane do odzyskiwania składników odżywczych. Procesy MD i ED są kompatybilne z MFC przy zastosowaniu MFC do odzyskiwania składników odżywczych z rozcieńczonych ścieków. Taka integracja może niewątpliwie **zwiększyć jakość i ilość odzyskiwanych składników odżywczych** i jest opłacalna w przyszłości. Innym ważnym aspektem jest zwiększenie **beztlenowego uwalniania fosforanów** w istniejących zbiornikach w odpowiednich ilościach [16]. Ponadto, właściwości roztworu zasilającego mogą decydować o wydajności bioreaktora membranowego poprzez bezpośredni wpływ na właściwości osadu, zanieczyszczenie membrany i strumień permeatu [17]. Jednak rola roztworu zasilającego w systemach OMBR nie została jeszcze wystarczająco przeanalizowana. Konieczne jest przeprowadzenie dalszych badań w celu oceny wykonalności zastosowania różnych źródeł ścieków w odniesieniu do odzysku składników odżywczych i zaproponowania odpowiedniego wstępnego oczyszczania roztworu zasilającego, jeśli jest to konieczne. W ten sposób można zwiększyć techniczną wykonalność systemu odzyskiwania składników odżywczych, a także jego wydajność.

W przyszłości można się spodziewać, że nowe badania doprowadzą do dalszego rozwoju **ekonomicznych systemów oczyszczania ścieków**, a w szczególności **osmotycznych bioreaktorów membranowych (OMBR)** i **systemów hybrydowych** opartych na **bioelektrochemii (BES)**.

Może to stworzyć nowe możliwości dla przedsiębiorców i firm rozpoczynających działalność.



### 3.3 Woda odzyskana

#### Dlaczego warto ponownie wykorzystywać oczyszczone ścieki?

Tylko 2,5% wody dostępnej na naszej planecie to woda słodka. W związku z szybkim wzrostem liczby ludności na świecie, przyspieszeniem urbanizacji i globalnym ociepleniem zasoby te stają się coraz rzadsze. **Nadmierny pobór wody** jest główną przyczyną jej niedoboru. Główne presje związane ze zużyciem wody koncentrują się na **nawadnianiu** i **zapotrzebowaniu gospodarstw domowych**, w tym turystyki. **Wykorzystanie powtórnego użycia oczyszczonych ścieków jako alternatywnego źródła zaopatrzenia w wodę jest obecnie uznawane w międzynarodowych, europejskich i krajowych strategiach zrównoważonego rozwoju.** Cel Zrównoważonego Rozwoju ONZ dotyczący wody (SDG 6) zakłada znaczne zwiększenie recyklingu i bezpiecznego ponownego wykorzystania wody na świecie do roku 2030. **Ponowne wykorzystanie wody jest głównym priorytetem w strategicznym planie wdrażania europejskiego partnerstwa innowacyjnego na rzecz wody**, a maksymalizacja ponownego wykorzystania wody jest celem szczegółowym określonym w komunikacie "Plan ochrony zasobów wodnych Europy". **Ponowne wykorzystanie oczyszczonych ścieków może przynieść znaczące korzyści środowiskowe, społeczne i ekonomiczne.** Zgodnie z planem, ponowne wykorzystanie wody może poprawić stan środowiska zarówno pod względem ilościowym, jak i jakościowym, zmniejszając presję poprzez zastąpienie poboru wody. **W porównaniu z alternatywnymi źródłami zaopatrzenia w wodę, takimi jak odsalanie lub przesyłanie wody, ponowne wykorzystanie wody często wymaga niższych kosztów inwestycji i energii, co zmniejsza emisję gazów cieplarnianych.**

Ponowne wykorzystanie wody przynosi korzyści szerszemu sektorowi wodnemu, który jest kluczowym elementem ekoprzemysłu UE. Ponowne wykorzystanie wody ma znaczny potencjał, jeśli chodzi o **tworzenie zielonych miejsc pracy w przemyśle związanym z wodą.** Szacuje się, że **zwiększenie tempa wzrostu przemysłu wodnego w UE o 1% mogłoby stworzyć do 20 000 nowych miejsc pracy** [18]. Obecnie ilość oczyszczonych ścieków komunalnych ponownie wykorzystywanych w ciągu roku stanowi około 2,4% oczyszczonych ścieków komunalnych i mniej niż 0,5% rocznego poboru wody słodkiej w UE. Potencjał UE jest jednak znacznie większy - szacuje się, że jest on sześciokrotnie większy niż obecnie. Zarówno południowe państwa członkowskie, takie jak Hiszpania, Włochy, Grecja, Malta i Cypr, jak i północne, takie jak Belgia i Niemcy, podjęły już liczne inicjatywy w zakresie ponownego wykorzystania wody do **nawadniania**, celów **przemysłowych** i **zasilania warstw wodonośnych.** Cypr i Malta wykorzystują już ponownie odpowiednio ponad 90% i 60% swoich ścieków, podczas gdy Grecja, Włochy i Hiszpania wykorzystują ponownie od 5 do 12% swoich ścieków, co wyraźnie wskazuje na potencjał do dalszego rozwoju.

Ponowne wykorzystanie oczyszczonych ścieków z oczyszczalni do nawadniania rolnictwa i gruntów, celów przemysłowych, splukiwania toalet i uzupełniania wód gruntowych jest kluczowym elementem obecnie wdrażanej strategii ukierunkowanej na uwalnianie słodkiej wody do użytku domowego, poprawę jakości ścieków z oczyszczalni, a w konsekwencji wyższą jakość wód rzecznych wykorzystywanych do poboru wody pitnej [19]. Wykorzystanie oczyszczonych ścieków do nawadniania w rolnictwie jest znane od wielu lat i może zapewnić dostawy wody **zastępujące zapotrzebowanie rolnictwa** oraz zmniejszyć **lokalny stres wodny.** Ponadto składniki odżywcze zawarte w ściekach zmniejszają potrzebę stosowania nawozów komercyjnych. **Zaleca się wykorzystywanie ścieków z oczyszczania wtórnego do nawadniania upraw niespożywczych, a ścieków z oczyszczania trzeciego stopnia do nawadniania upraw spożywczych.**



Ponowne wykorzystanie ścieków komunalnych może być **planowane** (bezpośrednie lub pośrednie) lub **nieplanowane**, co jest związane głównie z wykorzystaniem do celów innych niż pitne, choć zdarzają się przypadki nieplanowanego ponownego wykorzystania do celów pitnych. Ponowne wykorzystanie wody miejskiej dotyczy głównie nawadniania budynków mieszkalnych i zastosowań komercyjnych do ochrony przeciwpożarowej, mycia samochodów, sputkiwania toalet itp. **Głównymi problemami związanymi z ponownym wykorzystaniem wody w miastach są: zagrożenia dla zdrowia ludzkiego i wysokie koszty podwójnych systemów dostarczania wody zregenerowanej** [20]. W przypadku pośredniego ponownego wykorzystania wody pitnej wysokiej jakości ścieki z oczyszczalni ścieków są odprowadzane bezpośrednio do wód gruntowych lub powierzchniowych w celu uzupełnienia zasobów wody pitnej. Innym rozwiązaniem może być bezpośrednie ponowne wykorzystanie wody pitnej (pipe to pipe) polegające na bezpośrednim wprowadzeniu oczyszczonych ścieków do **systemu dystrybucji wody** [21].

Jednak bezpośrednie ponowne wykorzystanie wody pitnej znacznie zwiększa koszty operacyjne ze względu na bardzo wysokie wymagania dotyczące jakości ścieków. Istotny jest również brak akceptacji społecznej.



Źródło: <https://pixabay.com/images/search/water%20garden/?page=2>



### *Woda odzyskana dla procesów przemysłowych*

W zależności od wymagań dotyczących jakości wody, ograniczeń przestrzennych i względów budżetowych dostępne są różne metody recyklingu lub ponownego wykorzystania wody przemysłowej. **Korzyści mogą obejmować obniżenie kosztów świeżej wody, zmniejszenie przepływu ścieków oraz zmniejszenie śladu wodnego.** Wraz z poprawą zdolności produkcyjnych może wzrosnąć wydajność operacyjna i zrównoważony rozwój dzięki zwiększeniu ilości dostępnej czystej wody.

### **Technologie**

Z punktu widzenia oczyszczania ścieków, **mikrofiltracja (MF), ultrafiltracja (UF), nanofiltracja (NF) i odwrócona osmoza (RO)** są najbardziej rozpowszechnionymi membranowymi technikami separacji stosowanymi w przemyśle. Ostatnio wprowadzono także osmozę wstępną (**FO**) jako zaawansowaną technikę membranową do oczyszczania ścieków. W zastosowaniach przemysłowych wykorzystuje się szereg innych zaawansowanych technologii oczyszczania wody, w tym **węgiel aktywny, wymianę jonową, dejonizację, elektrodeionizację, dezynfekcję UV (ultrafioletową) i ozonową oraz dozowanie chemiczne.**

W oczyszczaniu ścieków technologia membranowa została uznana za kluczową dla oddzielania zanieczyszczeń z zanieczyszczonych źródeł [22]. Membrany są selektywnymi barierami, które oddzielają dwie różne fazy, umożliwiając przejście pewnych składników i zatrzymanie innych. Czynnikiem inicjującym procesy membranowe może być **gradient ciśnienia** oraz **potencjał chemiczny lub elektryczny** w obrębie membrany. Procesy membranowe polegają na **fizycznej separacji**, zwykle bez zmiany fazy i dodatku substancji chemicznych w strumieniu zasilającym, dlatego wyróżniają się jako alternatywna technika oczyszczania ścieków w stosunku do procesów konwencjonalnych (tj. destylacji, strącania, koagulacji/flokulacji, adsorpcji na węglu aktywnym, wymiany jonowej, oczyszczania biologicznego itp. **Niskie zużycie energii, zmniejszenie liczby etapów przetwarzania, większa wydajność separacji i wyższa jakość produktu końcowego** to główne zalety tych procesów [22-24]. Jednak **ograniczona odporność chemiczna, mechaniczna i termiczna membran** ogranicza ich zastosowanie. Wiele wysiłku włożono w poprawę zarówno strumienia, jak i selektywności membran. Co więcej, niektórzy badacze skupili się na kontrolowaniu **zamulania membran**, które jest najważniejszym problemem w zastosowaniu membran w oczyszczaniu ścieków. W rezultacie, wydajność membran znacznie wzrosła, a rynki komercyjne membran rozwijają się w ostatnich latach.

Sukces operacji membranowych w oczyszczaniu ścieków przypisuje się kompatybilności pomiędzy różnymi operacjami w zintegrowanych systemach. Oczyszczanie ścieków w systemach zintegrowanych pozwala obecnie na ograniczenie szkodliwego wpływu na środowisko, zmniejszenie zużycia wody gruntowej i energii oraz odzyskiwanie cennych związków jako produktu ubocznego. **Bioreaktor membranowy (MBR), łączący filtrację membranową z oczyszczaniem biologicznym, jest uznawany za jeden z najbardziej udanych hybrydowych systemów membranowych w oczyszczaniu ścieków.**

W różnych gałęziach przemysłu w oczyszczaniu ścieków stosuje się membrany ciśnieniowe, MBR, a także kombinacje membran w systemach hybrydowych.



### *Woda odzyskana do nawadniania*

**Rolnictwo** jest zdecydowanie **największym światowym konsumentem wody**. Nawadnianie gruntów rolnych stanowi 70% wody zużywanej na całym świecie. W kilku krajach rozwijających się **nawadnianie** stanowi do 95% wszystkich zastosowań wody i odgrywa ważną rolę w produkcji żywności i bezpieczeństwie żywnościowym. Przyszłe strategie rozwoju rolnictwa w większości tych krajów zależą od możliwości utrzymania, ulepszenia i rozwoju rolnictwa nawadnianego.

Ponowne wykorzystanie wody jest powszechnie i z powodzeniem stosowane w kilku państwach członkowskich UE, a także np. w Izraelu, Kalifornii, Australii i Singapurze. Jednak w UE praktyka ta jest jak dotąd wykorzystywana w stopniu niewystarczającym. Za dwie główne przeszkody uniemożliwiające szersze rozpowszechnienie tej praktyki w UE uznano **ograniczoną świadomość potencjalnych korzyści** wśród zainteresowanych stron i ogółu społeczeństwa oraz **brak wspierających i spójnych ram prawnych** dla ponownego wykorzystania wody. Z tych powodów Komisja zaproponowała w 2018 r. rozporządzenie mające na celu promowanie ponownego wykorzystania wody, gdy jest ono opłacalne i bezpieczne dla zdrowia i środowiska.

Niedawno weszło w życie **nowe rozporządzenie w sprawie minimalnych wymagań dotyczących ponownego wykorzystania wody do nawadniania rolnictwa**, które ma stymulować i ułatwiać ponowne wykorzystanie wody w UE [25]. Komisja przygotowała także różne kluczowe dokumenty, które można znaleźć na stronie [ec.europa.eu](http://ec.europa.eu) [18].

Ze ścieków należy usunąć potencjalne patogeny. Jeśli organizmy chorobotwórcze nie są specjalnie przetwarzane podczas oczyszczania, należy dokładnie ocenić sposób wykorzystania oczyszczonych ścieków. Na **skuteczne usuwanie mikroorganizmów patogennych i wskaźnikowych mają wpływ różne parametry** [26]. Ocena technologii usuwania patogenów opiera się głównie na wskaźnikach zanieczyszczenia kałowego, takich jak całkowita liczba bakterii grupy *coli*, termotolerancyjne bakterie grupy *coli* lub *Escherichia coli*. **Chlor, ultrafiolet (UV), ozon, stawy dojrzewania, CW, filtracja membranowa, filtracja węgłowa i metody elektrochemiczne** to techniki stosowane **do dezynfekcji** [26]. Jeśli chodzi o stosowanie **utleniaczy do dezynfekcji, podchlorynu sodu (NaClO) i ozonu**, w literaturze można znaleźć kilka przykładów praktyk związanych z systemami rekultywacji do nawadniania. Oczyszczanie **ultrafioletowe** jest zalecane w kilku wytycznych jako najlepsza dostępna technologia dezynfekcji wody odzyskanej, która nie wiąże się z nadmiernymi kosztami, zwłaszcza w przypadku zastosowań wymagających wysokiego lub średniego kontaktu [26]. Jeśli chodzi o oczyszczanie biologiczne, **stawy dojrzewania** są uznawane za najlepsze rozwiązanie w kilku wytycznych, w tym WHO [27]. Metoda ta ma pewne zalety i wady. Więcej informacji można znaleźć na stronie [TheWaterTreatments.com](http://TheWaterTreatments.com) [28].

Jako alternatywa dla filtracji złożowej i oczyszczania chemicznego, **filtracja membranowa** jest technologią często uważaną za skuteczną w usuwaniu patogenów ze ścieków stosowanych w nawadnianiu. Wyniki badań wskazują, że całkowita redukcja wirusów jest możliwa przy zastosowaniu **membrany Ultra Filtration (UF)**, co oznacza, że można pominąć proces dezynfekcji chemicznej [27].

W ostatnich latach coraz więcej uwagi poświęca się substancjom **chemicznym zaburzającym gospodarkę hormonalną (EDC)** ze względu na ich szkodliwy wpływ na ludzi i zwierzęta. Obecność EDCs w wodzie do nawadniania i glebach rolniczych może powodować skażenie produktów rolnych, stwarzając zagrożenie dla zdrowia ludzi. Nowe technologie usuwania EDC ze ścieków stwarzają nowe możliwości dla przedsiębiorców i firm rozpoczynających działalność.





Źródło: <https://pixabay.com/images/search/agriculture%20water/?page=2>



### 3.4 Odzyskiwanie energii

Odzyskiwanie energii w oczyszczalniach ścieków stanowi ważną dźwignię polityczną dla zrównoważonego rozwoju, ponieważ może znacząco **zmniejszyć ślad węglowy związany** z oczyszczaniem ścieków. Oczyszczanie ścieków wymaga znacznego **zużycia energii**. Analiza energii chemicznej i cieplnej zawartej w ściekach wykazuje, że jest jej nawet 14 razy więcej niż potrzeba do ich oczyszczenia. Chociaż znaczna część tej energii to ciepło niskiej jakości, **osiągnięcie pozytywnego bilansu energetycznego w oczyszczalniach ścieków powinno być teoretycznie możliwe**.

W oczyszczalniach ścieków **odzysk energii może być realizowany poprzez** [29-30]:

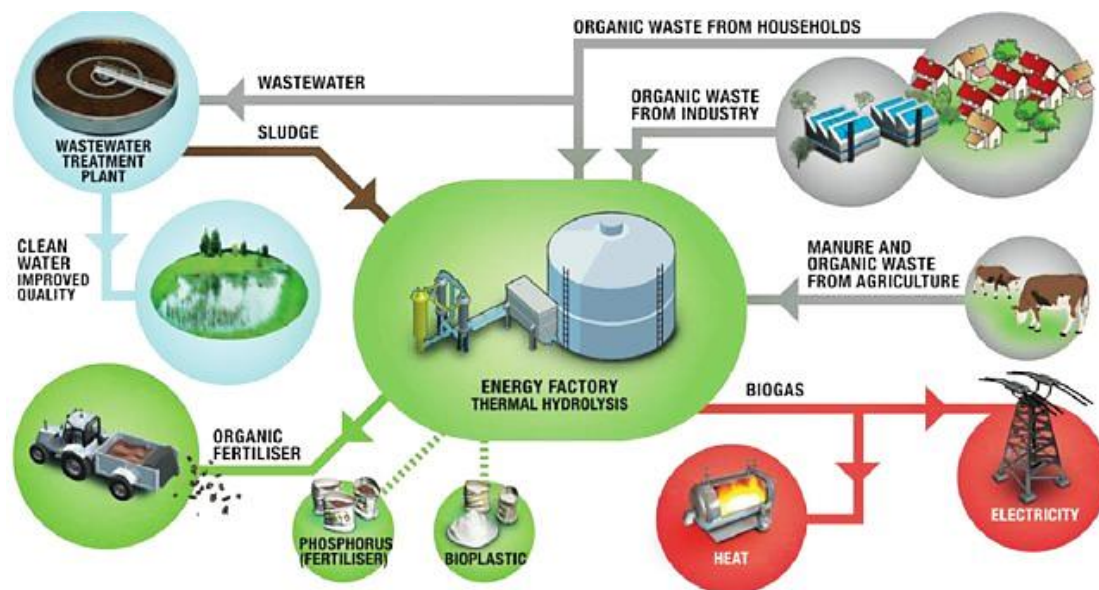
- **Produkcja biogazu**. W komorach fermentacyjnych w procesie fermentacji beztlenowej (AD) powstaje biogaz, który jest głównym źródłem energii w oczyszczalniach ścieków. Biogaz może być wykorzystywany do ogrzewania i/lub wytwarzania energii elektrycznej. **Zwiększenie wydajności AD** jest powszechną praktyką mającą na celu zwiększenie samowystarczalności energetycznej oczyszczalni ścieków.
- **Pompy ciepła** w ściekach z oczyszczalni ścieków, oraz
- Odzyskiwanie energii z różnych strumieni wysokotemperaturowych za pomocą **wymiennika ciepła**

**Optymalizacja AD** obejmuje różne metody wstępnej obróbki osadów ściekowych, mające na celu zwiększenie ich biodegradowalności. Obecnie najbardziej rozpowszechnionymi technologiami dostępnymi na rynku są **mechaniczna i termiczna obróbka wstępna**. Technologie **hydrolizy termicznej (THP)**, takie jak Cambi, Biothelys, Exelys, są najczęściej stosowane w celu poprawy fermentacji beztlenowej w oczyszczalniach ścieków. Pierwsza oczyszczalnia ścieków w Ameryce Północnej (Waszyngton, DC, USA), w której zastosowano technologię Cambi, odnotowała 50% wzrost produkcji biogazu. Inną opcją jest **współfermentacja osadów ściekowych z innymi odpadami ulegającymi biodegradacji**, co zapewnia szereg korzyści ekonomicznych i środowiskowych. Współfermentacja odpadów organicznych w połączeniu z osadami ściekowymi nie tylko pozwala oczyszczalniom ścieków na osiągnięcie neutralności energetycznej, ale także na obniżenie kosztów gospodarowania odpadami organicznymi pochodzenia komunalnego i przemysłowego. Na przykład w Mossberg (Niemcy) od 10 lat stosuje się współfermentację osadów ściekowych z sześcioma różnymi substratami. Produkcja ciepła i energii w oczyszczalni ścieków w Mossbergu jest znacznie wyższa niż jej wewnętrzne zapotrzebowanie. Nadmiar energii jest przekazywany do sieci, natomiast nadmiar ciepła jest wykorzystywany do suszenia odwodnionych osadów z innych oczyszczalni ścieków.

Technologie najczęściej stosowane przez istniejące samowystarczalne oczyszczalnie ścieków to technologie **skojarzonego** wytwarzania **ciepła i energii** elektrycznej (**CHP**), które wytwarzają jednocześnie energię elektryczną i ciepło z biogazu. Niezawodnym i ekonomicznym źródłem ciepła do wykorzystania w  **pompach ciepła (HP)** są ścieki z komunalnych oczyszczalni ścieków [31]. Ciepło z pomp ciepła **może być wykorzystywane do ogrzewania i chłodzenia budynków mieszkalnych, socjalnych i administracyjnych zakładu i/lub sąsiadującej infrastruktury**.

W duńskim mieście Odense oczyszczalnia ścieków dostarcza energię ciepłą i elektryczną dla prawie 400 000 mieszkańców i osiągnęła 150-procentowy dodatni bilans energetyczny, wytwarzając energię elektryczną i ciepłą dla lokalnej sieci. Transformacja była możliwa dzięki dokładnej analizie historycznych danych operacyjnych, która pozwoliła zidentyfikować szereg opcji optymalizacji zużycia energii, z których wiele zostało wdrożonych poprzez modyfikację strategii operacyjnych, a nie znaczącą modernizację sprzętu. Od momentu wprowadzenia początkowych zmian wprowadzono szereg ulepszeń w zakładzie, dzięki którym osiągnięto 200% pozytywnego bilansu energetycznego. Interwencje techniczne opierały się na przyjęciu bardzo jasnego sposobu myślenia o "neutralności

węglowej" w całej organizacji, co z kolei doprowadziło do opracowania i zaangażowania się w realizację bardzo agresywnego korporacyjnego celu środowiskowego [32].



Źródło: <https://www.billundbiorefinery.com/>



#### 4. Studia przypadków

Prezentujemy tu 3 studia przypadków przedsiębiorców i firm rozpoczynających działalność. Prezentowane studia przypadków zostały wybrane na podstawie ich **innowacyjności** i wykorzystywanych **technologii, cyrkularności, powtarzalności, stopnia oddziaływania i zasięgu**. W każdym studium przypadku podkreślamy główne wyzwania i możliwe rozwiązania.



## Studium przypadku nr 1. 1: Od ścieków do wody rolniczej - innowacyjna technologia łącząca oczyszczanie i ponowne wykorzystanie w rolnictwie

### Wyzwanie

Jak już wspomnieliśmy, rolnictwo jest zdecydowanie największym konsumentem wody. Wykorzystanie oczyszczonych ścieków do nawadniania w rolnictwie może zastąpić zapotrzebowanie na wodę w rolnictwie i zmniejszyć lokalny stres wodny. Z drugiej strony, przyszłe strategie rozwoju rolnictwa w większości krajów rozwijających się zależą od możliwości utrzymania, poprawy i rozwoju rolnictwa nawadnianego.

W **projekcie RichWater** grupa małych, początkujących firm połączyła swoją wiedzę, aby stworzyć zintegrowane podejście do łączenia **oczyszczania i nawadniania w jeden system**, który może maksymalnie wykorzystać składniki odżywcze. Ich ambicją jest opracowanie w południowej Hiszpanii prototypu komercyjnego o dużej skali, który umożliwi ponowne wykorzystanie ścieków komunalnych do nawadniania. Celem jest stworzenie sytuacji, w której obie strony odniosą korzyści (sektor oczyszczania ścieków i sektor rolniczy), przekształcając ścieki komunalne w wartościowy produkt końcowy.

Zintegrowany system składa się z taniego i wydajnego energetycznie MBR (**bioreaktora membranowego**), który produkuje wodę do nawadniania wolną od patogenów i bogatą w składniki odżywcze.

System oczyszczania jest podłączony do:

- **Moduł mieszania** (do indywidualnego mieszania z wodą słodką i dodatkowymi nawozami)
- Urządzenie do **fertygacji**
- **Moduł monitorowania/sterowania** obejmujący czujniki glebowe, gwarantujący fertygację zgodną z zapotrzebowaniem i wrażliwą na przypadek.

Dzięki połączeniu tych modułów można stworzyć kompletny i gotowy do użytku system bezpiecznego ponownego wykorzystania ścieków w rolnictwie.

### Wyniki

- Produkcja oczyszczonych ścieków (tj. wody odzyskanej),
- Niskie zużycie energii
- Nawadnianie 3 upraw docelowych na polu doświadczalnym: pomidora, mango i awokado,
- Uzdatniona woda dostarcza 50% głównych makroelementów (N, P, K) do upraw docelowych,
- Badania agronomiczne w celu porównania upraw nawadnianych ściekami i wodą konwencjonalną.
- Analiza kosztów i korzyści oraz studium wykonalności,
- Strategia rynkowa.

### Wyciągnięte wnioski

Zastosowanie zasad gospodarki cyrkulacyjnej wykazało, że odzyskana woda może być wykorzystywana do nawadniania. Jednocześnie może ona dostarczać 50% głównych



makroelementów (N, P, K) do upraw docelowych. Mimo że początkowe nakłady inwestycyjne są wysokie, zużycie energii jest niskie, a mimo to uzyskuje się korzyści ekonomiczne netto.



Źródło: <https://richwater.eu/gallery/>



## Studium przypadku nr 2: Zaawansowana technologia oczyszczania ścieków w celu usuwania niebezpiecznych zanieczyszczeń organicznych

### Wyzwanie

**Substancje zaburzające gospodarkę hormonalną** można znaleźć w tabletkach antykoncepcyjnych, kosmetykach, proszkach do prania i wielu innych produktach używanych w gospodarstwach domowych. Uwalnianie substancji zaburzających gospodarkę hormonalną do środowiska naturalnego, a następnie do ścieków, powoduje, że ryby, płocie i ślimaki stają się interseksualne. Ostatnio w Danii i innych miejscach zaobserwowano feminizację ryb. Aby zapobiec przedostawaniu się takich substancji zaburzających gospodarkę hormonalną z wylotów oczyszczalni ścieków do środowiska, potrzebna jest opłacalna metoda. Grupa małych firm podjęła współpracę w celu opracowania systemu, który umożliwiłby eliminację mikroorganizmów chorobotwórczych i substancji zaburzających gospodarkę hormonalną ze ścieków.

Podstawowym założeniem jest wprowadzenie **zaawansowanych procesów fotoutleniania** w oczyszczalniach ścieków przy użyciu **lamp ultrafioletowych**. Światło z lamp ultrafioletowych jest w stanie niszczyć bakterie i usuwać substancje chemiczne ze ścieków przy użyciu utleniaczy, np. ozonu lub dwutlenku chloru.

Dzięki temu zakłady WTPP będą mogły produkować ścieki, które nie stanowią zagrożenia. Metoda ta charakteryzuje się następującymi cechami:

- Prosty system do **dezynfekcji** ścieków,
- Prosty system do **usuwania substancji zaburzających gospodarkę hormonalną** i innych niebezpiecznych związków,
- **Elastyczny system**,
- **Łatwa** instalacja,
- Zaawansowana **technologia sterowania procesem**,
- **Lampy UV** o dużej intensywności energii,
- **Niski koszt kapitału**
- **Niskie koszty operacyjne**,
- Środowisko i zdrowie,
- Doskonała jakość kąpielii,
- **Brak** zagrożeń dla fauny i ekosystemów wodnych odbiorców,

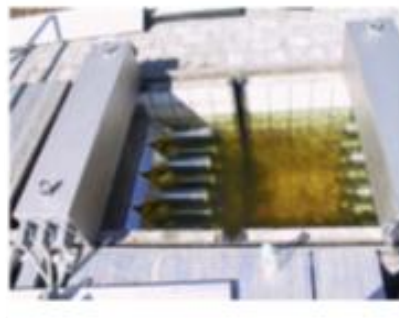
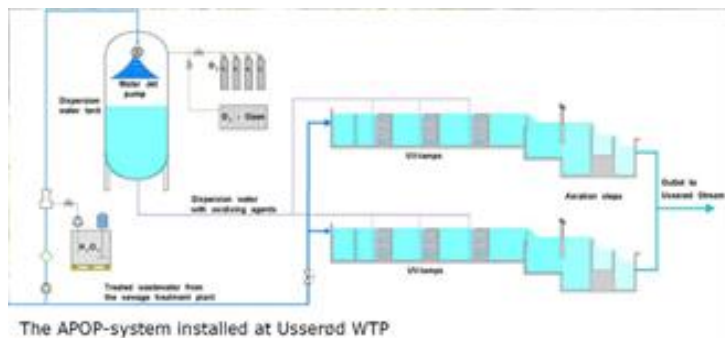
### Wyniki

- **Dezynfekcja:** System ten wykazał, że możliwe jest zapewnienie, by ścieki z oczyszczalni ścieków były wolne od mikroorganizmów chorobotwórczych, gwarantowały jakość wody w kąpieliskach oraz były zgodne z dyrektywą WE.
- **Usuwanie substancji zaburzających gospodarkę hormonalną:** System jest przydatny do usuwania substancji zaburzających gospodarkę hormonalną i innych niebezpiecznych związków z oczyszczonych ścieków (stopień usunięcia 99,8%).

### Wyciągnięte wnioski

Zaproponowane rozwiązanie techniczne pokazało, że przy niewielkim nakładzie środków można spełnić wymagania dyrektywy UE dotyczącej wody w kąpieliskach i zapewnić niski poziom substancji zaburzających gospodarkę hormonalną o działaniu estrogennym w ściekach. To doświadczenie stwarza możliwości dla przedsiębiorców i firm rozpoczynających działalność w zakresie wdrażania

innych rozwiązań technicznych opartych na końcowym wykorzystaniu wody w celu eliminacji zanieczyszczeń wody.



Rysunek: System APOP.

Źródło: <https://www.slideshare.net/NIDHISRIVASTAVA52/advanced-photo-catalytic-oxidationwastewater>





## Studium przypadku nr 3: Procesy oszczędzania wody w produkcji tekstylnej. 3: Procesy oszczędzania wody w produkcji tekstyliów

### Wyzwanie

Woda jest ważnym zasobem w procesach produkcyjnych, w tym w **sektorze tekstylnym**. Przemysł włókienniczy jest uzależniony od wody praktycznie na wszystkich etapach produkcji. Barwniki, specjalistyczne i wykończeniowe środki chemiczne stosowane do produkcji odzieży są nakładane na tkaniny w kąpielach wodnych. Oznacza to, że **do barwienia, wykańczania i prania odzieży zużywa się ogromne ilości wody**. Zmniejszenie zużycia wody poprzez wprowadzenie zrównoważonych procesów produkcyjnych może być zatem korzystne zarówno dla firm, jak i dla społeczności, w których działają. W odpowiedzi na problem zużycia i zanieczyszczenia wody przez przemysł tekstylny wiele korporacji zaczęło poszukiwać alternatywnych rozwiązań.

Prezentujemy tu studium przypadku działań na rzecz oszczędzania wody w urządzeniach do barwienia w fabryce włókienniczej w Chorwacji. Młodzi przedsiębiorcy przeanalizowali wszystkie procesy i wybrali najlepsze działania mające na celu zmniejszenie zużycia wody w przedsiębiorstwie. Skoncentrowali się na procesach prania i **płukania**, ponieważ oba te procesy są ważne w przemyśle tekstylnym ze względu na konieczność zredukowania zanieczyszczeń w tkaninach do wcześniej ustalonego poziomu. Aby zmniejszyć zużycie wody w tych procesach, znaleziono skuteczne **metody redukcji zużycia wody w trybie wsadowym i ciągłym**. Wyposażenie wykorzystywane w programie oszczędzania wody jest stosunkowo niedrogi; w większości przypadków wystarczą zawory, rury, małe pompy i zbiorniki. Koszty operacyjne tych systemów są na ogół bardzo niskie. Droższa może być **rutynowa konserwacja** oraz, w niektórych przypadkach, energia elektryczna dla pomp. Środki służące oszczędzaniu wody prowadzą do [33]:

- Zmniejszenie kosztów przetwarzania,
- Zmniejszenie kosztów oczyszczania ścieków,
- Zmniejszenie zużycia energii cieplnej,
- Zmniejszenie zużycia energii elektrycznej,
- Zmniejszenie ładunku zanieczyszczeń.

### Wyniki

Zastosowanie tych środków pozwoliło na **znaczne oszczędności w zakresie samej wody (90% wody), jak również kosztów związanych z jej odprowadzaniem i doprowadzaniem**.

Te zintegrowane techniki można zastosować w innych gałęziach przemysłu włókienniczego. Okres zwrotu nakładów poniesionych na system oszczędzania wody zależy od ilości zaoszczędzonej wody, opłat za odprowadzanie ścieków oraz kosztów wody surowej i oczyszczania ścieków.

### Wyciągnięte wnioski

Ochrona i ponowne wykorzystanie wody to konieczność dla przemysłu włókienniczego. Możliwe jest zmniejszenie ilości wody zużywanej w zakładach włókienniczych. Obniża to koszt gotowych wyrobów włókienniczych poprzez obniżenie opłat za wodę słodką i odprowadzanie ścieków. Ilość wody potrzebnej do przetwarzania wyrobów włókienniczych jest różna w poszczególnych zakładach i zależy od rodzaju produkowanej tkaniny, procesu technologicznego, rodzaju sprzętu i barwników. Stwarza to wiele możliwości dla przedsiębiorców i firm rozpoczynających działalność w zakresie dostosowania zużycia wody do potrzeb własnych zakładów włókienniczych.



Źródło: <https://www.euronews.com/next/2017/03/20/dyed-without-waste-developing-a-process-to-save-water-in-the-textile-industry>



## 5. Quiz

1. Z poniższej listy wybierz słowo, które **nie jest** charakterystyczne dla zasad gospodarki cyrkulacyjnej 3R:

- a. Redukcja
- b. Ponowne wykorzystanie
- c. Recykling
- d. **Przekierowanie**

2. Przemysł i fabryki zanieczyszczają wodę:

- a. Metale ciężkie
- b. Barwniki
- c. Materia organiczna
- d. **Wszystkie powyższe**

3. Który z wymienionych poniżej procesów jest procesem zachodzącym w oczyszczalni ścieków?

- a. Obróbka fizyczna/chemiczna
- b. Obróbka biologiczna
- c. Leczenie trzeciorzędowe
- d. **Wszystkie powyższe**

4. Dlaczego warto ponownie wykorzystywać oczyszczone ścieki?

- a. **Ze względu na szybki wzrost liczby ludności na świecie, przyspieszenie urbanizacji i globalne ocieplenie, zasoby te stają się coraz radsze.**
- b. Ponieważ odsalanie wymaga niższych kosztów inwestycyjnych i energii, zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych
- c. Ponieważ ponowne wykorzystanie ścieków nie wymaga żadnego oczyszczania
- d. Wszystkie powyższe

5. Które z poniższych zdań **nie jest** prawdziwe?

- a. **Ponieważ biosolidy zawierają substancje bardzo korzystne dla rolnictwa, można je stosować bez kontroli.**
- b. Unia Europejska podjęła działania regulacyjne dotyczące stosowania biosolidów w glebie.
- c. Biosolidy poprawiają właściwości gleby poprzez zwiększenie zawartości materii organicznej w glebie, agregacji cząstek gleby, struktury i porowatości gleby oraz zmniejszenie gęstości nasypowej.
- d. Główne problemy związane z usuwaniem biosolidów to kwestie zdrowia i bezpieczeństwa, odór, uciążliwość i inne problemy publiczne.

6. Czy można odzyskiwać składniki odżywcze ze ścieków surowych, częściowo oczyszczonych i osadów ściekowych?

- a. **Tak**
- b. Nr



7. W przypadku odzyskiwania substancji biogennych technologie oparte na membranach charakteryzują się wysoką wykonalnością techniczną i ekonomiczną. Który z poniższych procesów **nie jest** stosowany do odzyskiwania składników odżywczych?

- a. Osmoza w przód
- b. Destylacja membranowa
- c. Elektrodializa
- d. **Proces krystalizacji**

8. Jakie metody można zastosować do usuwania patogenów ze ścieków?

- a. Ścieki surowe
- b. **Lampy ultrafioletowe (uv)**
- c. Woda oczyszczona
- d. Osady ściekowe

9. W oczyszczalniach ścieków odzysk energii może być realizowany różnymi metodami. Z poniższej listy wybierz odpowiedź, która jest fałszywa.

- a. Produkcja biogazu
- b. **Filtry piaskowe i antracytowe**
- c. Pompy ciepła w ściekach z oczyszczalni ścieków
- d. Odzyskiwanie energii z różnych strumieni wysokotemperaturowych za pomocą wymiennika ciepła

10. Która z poniższych metod oczyszczania ścieków nie jest stosowana jako technologia oczyszczania wody w przemyśle?

- a. Mikrofiltracja
- b. Odwrócona osmoza
- c. Wymiana jonowa
- d. **Wszystkie powyższe**



## Referencje

- [1] ARUP, Ellen MacArthur Foundation, AnteaGroup, Water and Circular Economy: A White Paper. 2018. [Online]. Dostępny: [https://www.arup.com/-/media/arup/files/publications/w/water\\_and\\_circular\\_economy\\_whitepaper.pdf](https://www.arup.com/-/media/arup/files/publications/w/water_and_circular_economy_whitepaper.pdf).
- [2] H. Rashidi, A. Ghaffarianhoseini, A. Ghaffarianhoseini, N. M. Nik Sulaiman, J. Tookey, and N. A. Hashim, "Application of wastewater treatment in sustainable design of green built environments: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 49, pp. 845-856, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.04.104.
- [3] W. Mo i Q. Zhang, "Energy-nutrients-water nexus: Zintegrowane odzyskiwanie zasobów w miejskich oczyszczalniach ścieków," *J. Environ. Manage.*, vol. 127, s. 255-267, 2013, doi: 10.1016/j.jenvman.2013.05.007.
- [4] Dokument roboczy służb Komisji, Summary of the Responses to the Consultative Communication on the Sustainable Use of Phosphorus [COM(2013) 517], 2014. [Online]. Dostępny: [http://ec.europa.eu/environment/natres/pdf/phosphorus/SWD\(2014\)263%20final.pdf](http://ec.europa.eu/environment/natres/pdf/phosphorus/SWD(2014)263%20final.pdf).
- [5] D. Cordell, J. O. Drangert, and S. White, "The story of phosphorus: Globalne bezpieczeństwo żywnościowe i powód do przemyśleń," *Glob. Environ. Chang.*, vol. 19, nr 2, s. 292-305, 2009, doi: 10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009.
- [6] Komisja Europejska, EU Reference Scenario Energy, Transport and GHG emissions, Trends to 2050. 2016. [Dataset] Dostępne: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/ref2016\\_report\\_final-web.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/ref2016_report_final-web.pdf)
- [7] A. R. Lemos, "Emerging-Tech-Wastewater Treatment-Management," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, nr 9, s. 1689-1699, 2013, [Online]. Dostępny: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-02/documents/emerging-tech-wastewater-treatment-management.pdf>
- [8] Eurostat 2017, Produkcja i usuwanie osadów ściekowych, 2017. [Online]. Dostępny: [https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/product?code=env\\_ww\\_spd](https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/product?code=env_ww_spd)
- [9] US-EPA, "Land Application of Sewage Sludge: A Guide for Land Appliers on the Requirements of the Federal Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge, 40 CFR Part 503," *Off. Enforc. Compliance Assur.*, s. 1-61, 1994. Dostępne: <https://www.epa.gov/biosolids/guide-land-appliers-requirements-federal-standards-use-or-disposal-sewage-sludge-40-cfr>
- [10] Q. Zhang, J. Hu, D. J. Lee, Y. Chang, and Y. J. Lee, "Sludge treatment: Aktualne kierunki badań," *Bioresour. Technol.*, vol. 243, s. 1159-1172, 2017, doi: 10.1016/j.biortech.2017.07.070.
- [11] S. Hukari, L. Hermann, and A. Nätötorp, "From wastewater to fertilisers - Technical overview and critical review of European legislation governing phosphorus recycling," *Sci. Total Environ.*, vol. 542, s. 1127-1135, 2016, doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.09.064.
- [12] C. Kabbe, F. Kraus i C. Remy, *Review of promising methods for phosphorus recovery and recycling from wastewater. In Proceedings of the International Fertiliser Society*. UK, London, 23-24, pp. 1-29, 2015.
- [13] W. Moerman, M. Carballa, A. Vandekerckhove, D. Derycke, and W. Verstraete, "Phosphate removal in agro-industry: Pilot- and full-scale operational considerations of struvite crystallization," *Water Res.*, vol. 43, nr 7, s. 1887-1892, 2009, doi: 10.1016/j.watres.2009.02.007.
- [14] Z. Bradford-Hartke, J. Lane, P. Lant, and G. Leslie, "Environmental Benefits and Burdens of Phosphorus Recovery from Municipal Wastewater", *Environ. Sci. Technol.*, vol. 49, nr 14, s. 8611-8622, 2015, doi: 10.1021/es505102v.



- [15] Y. Ye et al., "Nutrient recovery from wastewater: Od technologii do ekonomii", *Bioresour. Technol. Reports*, vol. 11, no. April, p. 100425, 2020, doi: 10.1016/j.biteb.2020.100425.
- [16] S. Daneshgar, A. Buttafava, A. Callegari, and A. G. Capodaglio, "Economic and energetic assessment of different phosphorus recovery options from aerobic sludge," *J. Clean. Prod.*, vol. 223, s. 729-738, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.195.
- [17] W.J. Gao, M.N. Han, X. Qu, C. Xu, B.Q. Liao, "Characteristics of wastewater and mixed liquor and their role in membrane fouling", *Bioresour. Technol.*, vol. 128, s. 207-214, 2013. doi: 10.1016/j.biortech.2012.10.075.
- [18] Komisja Europejska, Ponowne wykorzystanie wody - środowisko. [Online]. Dostępny: <https://ec.europa.eu/environment/water/reuse.htm>.
- [19] S. Lyu, W. Chen, W. Zhang, Y. Fan, and W. Jiao, "Wastewater reclamation and reuse in China: Opportunities and challenges," *J. Environ. Sci. (China)*, vol. 39, s. 86-96, 2016, doi: 10.1016/j.jes.2015.11.012.
- [20] L. Pintilie, C. M. Torres, C. Teodosiu, and F. Castells, "Urban wastewater reclamation for industrial reuse: An LCA case study," *J. Clean. Prod.*, vol. 139, s. 1-14, 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.07.209.
- [21] N.N. Li, A.G. Fane, W.W. Ho i T. Matsuura, *T. Advanced Membrane Technology and Applications, Chapter: Membranes for Wastewater Treatment*, John Wiley & Sons, 2008. doi: 10.1002/9780470276280
- [22] E. Drioli i L. Giorno, *Membrane Operations: Innovative Separations and Transformations*, Wiley-VCH, 2009. doi: 10.1002/9783527626779
- [23] C. de Morais Coutinho, M. C. Chiu, R. C. Basso, A. P. B. Ribeiro, L. A. G. Gonçalves, and L. A. Viotto, "State of the art of the application of membrane technology to vegetable oils: A review," *Food Res. Int.*, vol. 42, no. 5-6, pp. 536-550, 2009, doi: 10.1016/j.foodres.2009.02.010.
- [24] D. Norton-Brandão, S. M. Scherrenberg, and J. B. van Lier, "Reclamation of used urban waters for irrigation purposes - A review of treatment technologies," *J. Environ. Manage.*, vol. 122, s. 85-98, 2013, doi: 10.1016/j.jenvman.2013.03.012.
- [25] Parlament Europejski i Rada, "Rozporządzenie (UE) 2020/741, Minimalne wymagania dotyczące ponownego wykorzystania wody", *Off. J. Eur. Union*, vol. 177/33, no. May 2020, pp. 32-55, 2020. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32020R0741&qid=1623137719230>
- [26] D. Bixio i T. Wintgens, European Commission, Water Reuse System - Management Manual - AQUAREC, Dyrekcja Generalna ds. Badań Naukowych, Komisja Europejska, Bruksela, Belgia. 2006. [Online]. Dostępny: <https://www.lu.lv/materiali/biblioteka/es/pilnieteksti/vide/Water%20Reuse%20System%20Management%20Manual.%20AQUAREC.pdf>
- [27] WHO, Guidelines for the Use of Wastewater and Excreta in Agriculture and Aquaculture: Measures for Public Health Protection (Środki ochrony zdrowia publicznego). WHO Technical Reporting Service, Rzym, Włochy. (Streszczenie), 1989.
- [28] Uzdatnianie wody, Zalety i wady systemów WSP, w: Oczyszczanie ścieków. [Online]. Dostępny: <https://www.thewatertreatments.com/wastewater-sewage-treatment/advantages-disadvantages-wsp-systems/>.
- [29] K. Zhang i K. Farahbakhsh, "Removal of native coliphages and coliform bacteria from municipal wastewater by various wastewater treatment processes: Implications to water reuse," *Water Res.*, vol. 41, no. 12, pp. 2816-2824, 2007, doi: 10.1016/j.watres.2007.03.010.



[30] G. Bertanza, M. Canato, and G. Laera, "Towards energy self-sufficiency and integral material recovery in waste water treatment plants: Assessment of upgrading options," *J. Clean. Prod.* , vol. 170, s. 1206-1218, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.09.228.

[31] G. Zhen, X. Lu, H. Kato, Y. Zhao, and Y. Y. Li, "Overview of pretreatment strategies for enhancing sewage sludge disintegration and subsequent anaerobic digestion: Aktualne postępy, zastosowanie w pełnej skali i perspektywy na przyszłość," *Renew. Sustain. Energy Rev.* , vol. 69, no. November 2016, pp. 559-577, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.11.187.

[32] O. Culha, H. Gunerhan, E. Biyik, O. Ekren i A. Hepbasli, "Zastosowanie wymienników ciepła w pompach ciepła zasilanych ściekami w budynkach: A key review," *Energy Build.* , vol. 104, s. 215-232, 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.07.013.

[33] M. A. Shaikh, "Water conservation in textile industry," *Pakistan Text. J.* , vol. 58, nr 11, s. 48-51, 2009. [Online]. Dostępny:  
[https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/SHAKIH%202009%20Water%20conservation%20in%20the%20textile%20industry.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SHAKIH%202009%20Water%20conservation%20in%20the%20textile%20industry.pdf)



UNIVERSITAT  
ROVIRA I VIRGILI



Centrum Wspierania  
Edukacji  
i Przedsiębiorczości



QUARTER MEDIATION



LUDOR  
ENGINEERING



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

"The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein."

*Project Number: 2020-1-ES01-KA202-083137*