

# „Poprawa efektywności energetycznej oczyszczalni ścieków”

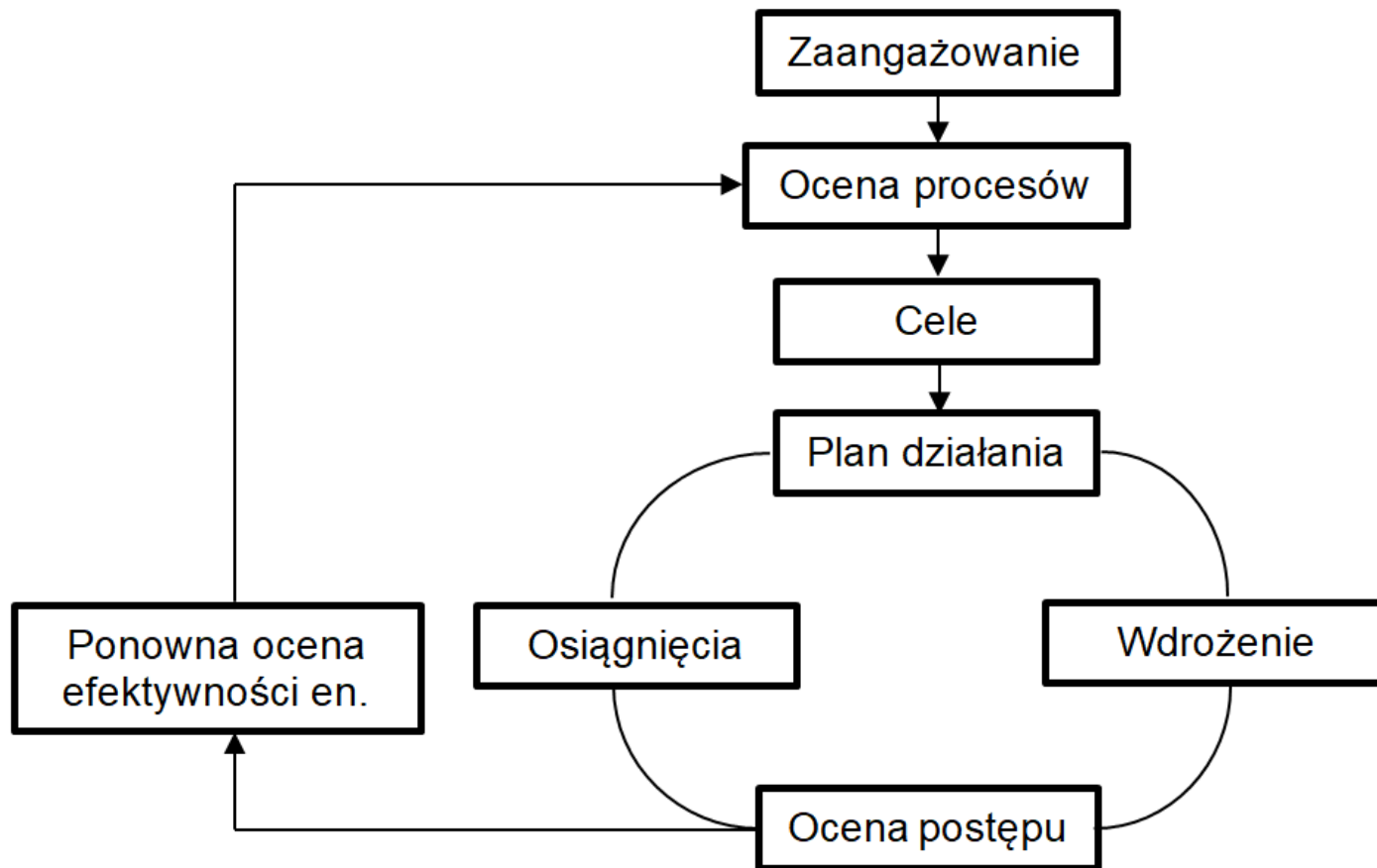
## Poznań, 17.10.2017

Beata Szatkowska

Bjarne Paulsrud

Aquateam COWI





## Odzysk energii/Energy recovery:

- biogaz, -pompy ciepła, -odzysk z różnych wysokotemperaturowych strumieni przez wymiennik ciepła

## Poprawa efektywności energetycznej/

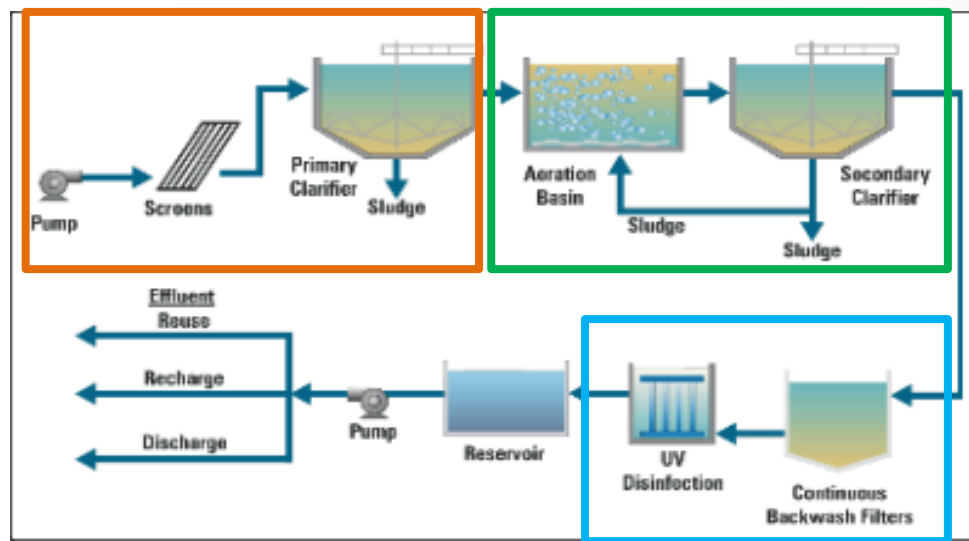
### Energy efficiency improvement:

- oczyszczanie wstępne
- oczyszczanie biologiczne
- oczyszczanie trzeciego stopnia

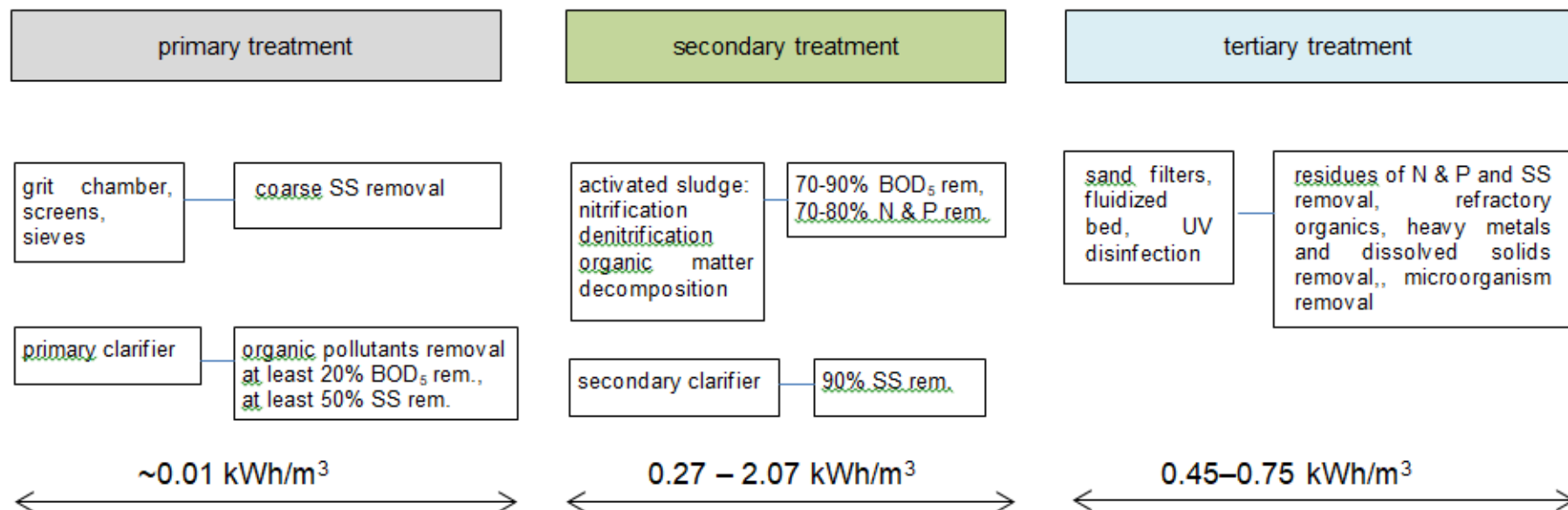
Intensywność energetyczna oczyszczania ścieków bardzo się różni w poszczególnych krajach

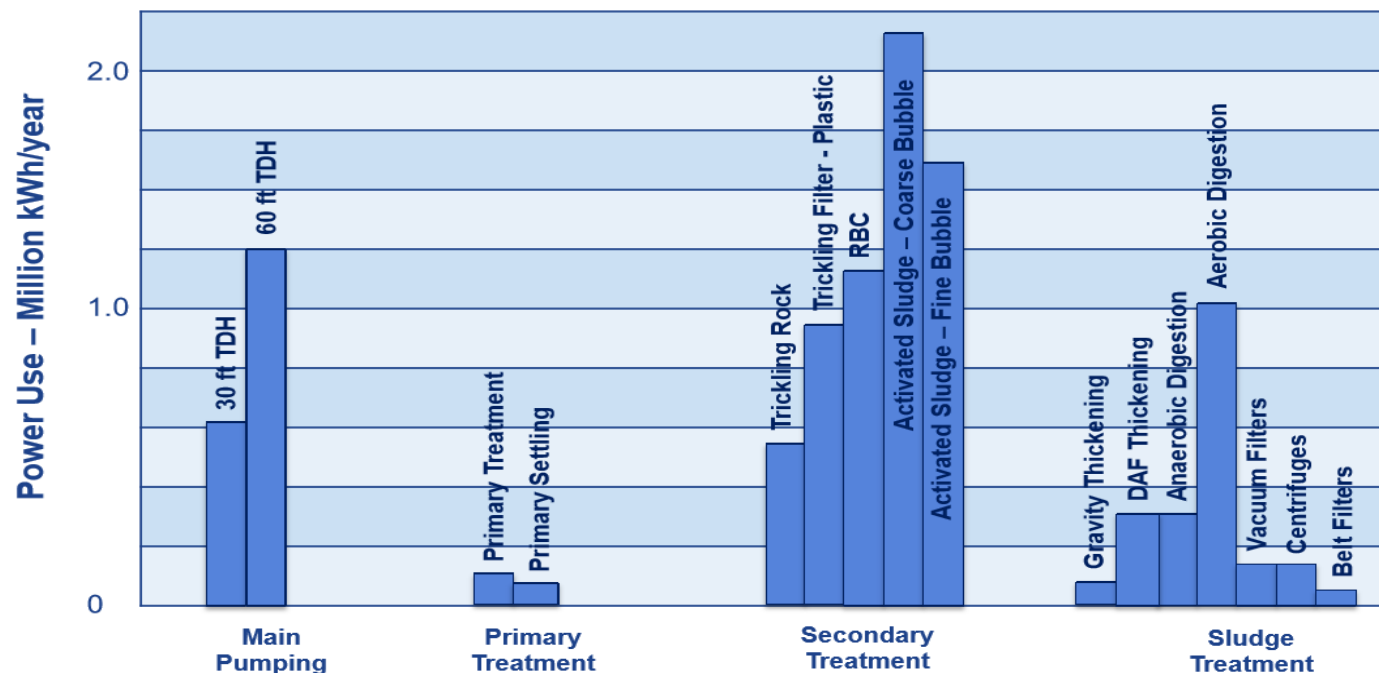
-dla **oczyszczania wstępnego** (najbardziej energochłonne -pompy) np.

0,02 do 0,1 kWh/m<sup>3</sup> w Kanadzie,  
od 0,045 do 0,14 kWh/m<sup>3</sup> na Węgrzech i  
od 0,1 do 0,37 kWh/m<sup>3</sup> w Australii



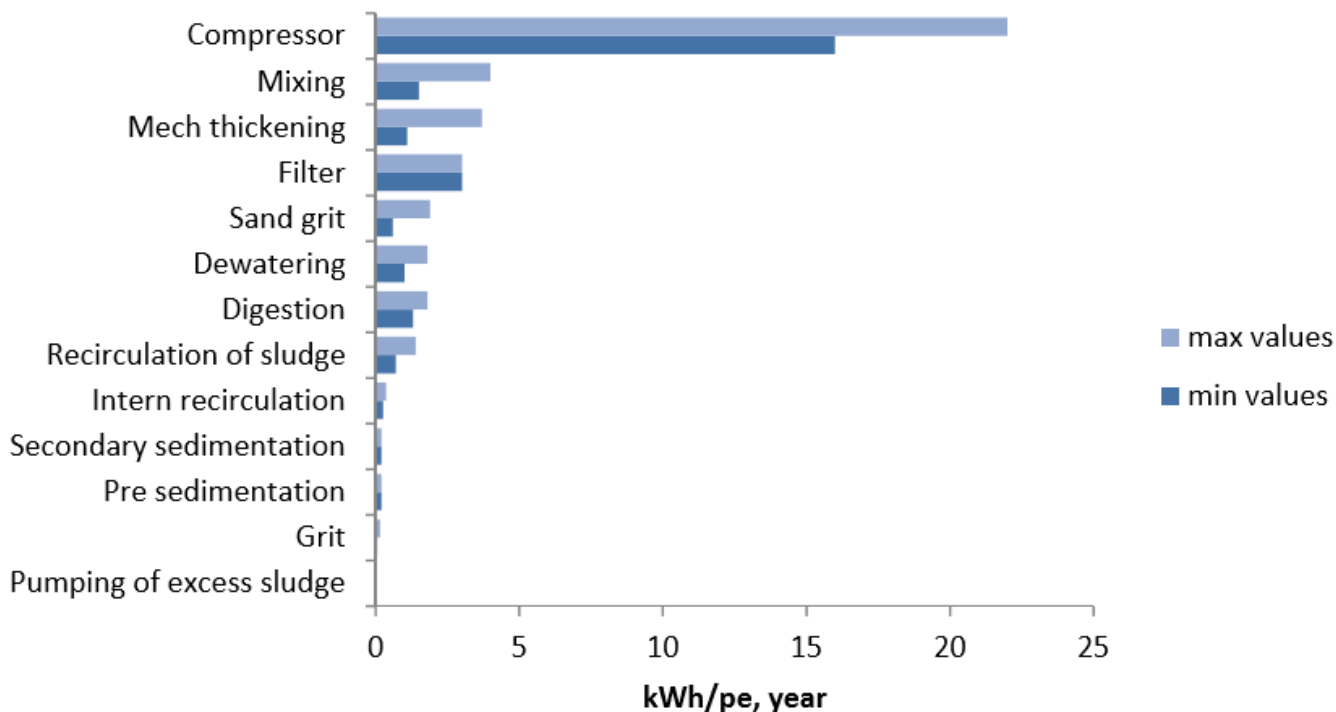
- dla **oczyszczania drugiego stopnia** (napowietrzanie, mieszanie osadu czynnego w denitryfikacji i recyrkulacja osadu (pompowanie) stanowią 60-65% całkowitych kosztów) np. 0.46 kWh/m<sup>3</sup> (Australia), 0.269 kWh/m<sup>3</sup> (Chiny), 0.33–0.60 kWh/m<sup>3</sup> (USA) i 0.30–1.89 kWh/m<sup>3</sup> (Japonia).
- dla **oczyszczania trzeciego stopnia** (zaawansowane) relatywnie duża ilość energii – intensyf. procesów usuwania N i P lub innych intensywnych procesów energet., np. Dezynf. UV.



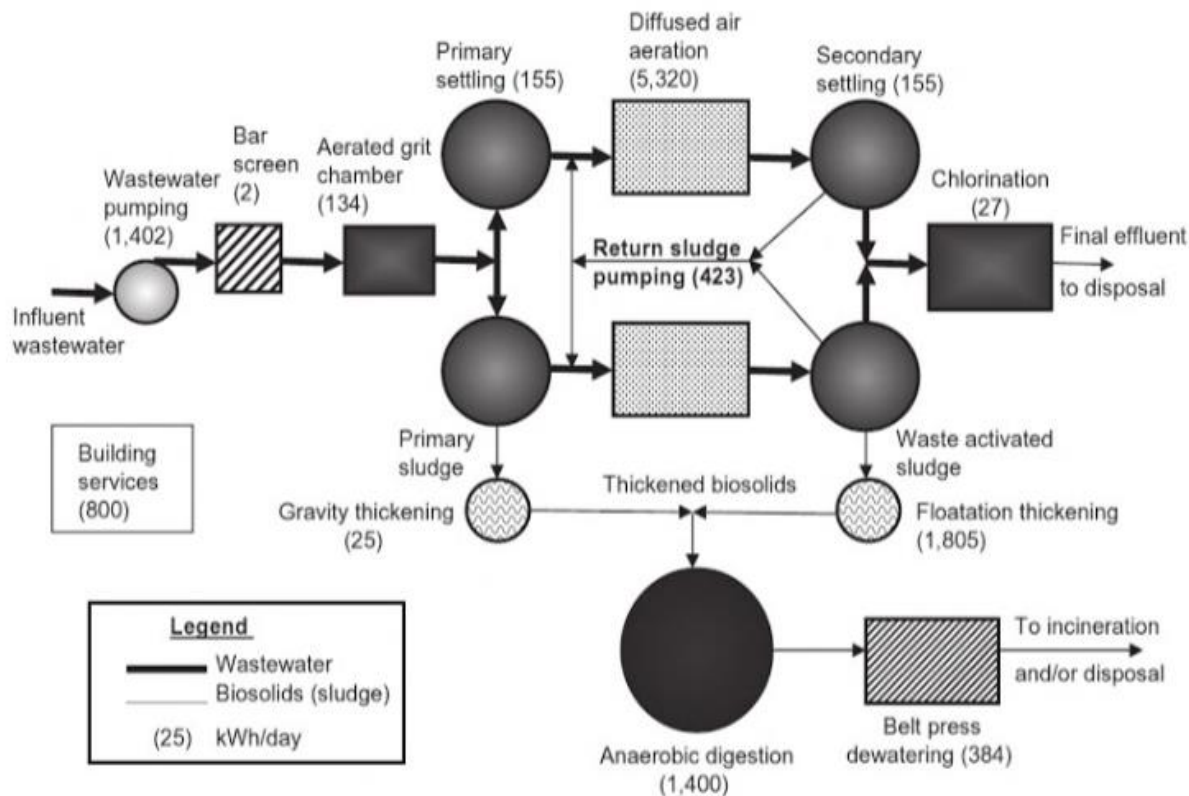


Typowy profil zużycia energii (dla oczyszczalni 37 854,1 m<sup>3</sup>/dzień). Źródło : Energy Conservation in Water and Wastewater Facilities - Manual of Practice no 32. WEF, McGraw-Hill Professional, 2009.

Primary treatment – podczyszczanie, primary settling – osadnik wstępny, trickling filters – złoża biologiczne zraszane, RBC – rotacyjne złoża biologiczne, activated sludge – osad czynny, coarse-bubble diffuser- dyfuzor grubopęcherzykowy, fine-bubble diffuser- dyfuzor drobnopęcherzykowy, gravity thickening – zagęszczacz grawitacyjny, DAF thickening – separator flotacyjny drobnopęcherzykowy, anaerobic digestion – fermentacja beztlenowa, aerobic digestion – fermentacja tlenowa, vacuum filters – filtr próżniowy, centrifuge – wirówka, belt filters – prasa taśmowa



Zużycie energii w poszczególnych procesach w kWh/RLM\*rok, Źródło: Wennerholm, 2014  
 compresor – kompresor, mixing – mieszanie, mech thickening – zagęszczanie mechaniczne, filter – filtr, sand grit – piaskownik (usuwanie piasku), dewatering – odwodnienie, digestion, fermentacja, recirculation of sludge – recyrkulacja osadu, intern recirculation – recyrkulacja wewnętrzna, secondary sedimentation – osadnik wtórny, pre sedimentation – osadnik wstępny, grit – usuwanie żwiru, pumping of excess sludge – pompowanie osadu nadmiernego.



Dzienne zużycie energii elektrycznej dla instalacji 37 854,1 m<sup>3</sup>/d. Źródło: Cao, 2001.



| No | Jednostka               | Zużycie energii, kWh             | Udział w całkowitym zużyciu energii, % | Specyficzne zużycie energii elektrycznej, kWh/m <sup>3</sup> |
|----|-------------------------|----------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 1  | Pompa podnosząca        | 1402                             | 8.2                                    | 0.04                                                         |
| 2  | Kraty                   | 2                                | 0.01                                   | pomijalne                                                    |
| 3  | Piaskownik              | 134                              | 0.8                                    | pomijalne                                                    |
| 4  | Osadnik wstępny         | 155                              | 0.9                                    | 0.01                                                         |
| 5  | Natlenianie             | 8766<br>(5320+3446) <sup>1</sup> | 51.2<br>(31.1+20) <sup>1</sup>         | 0.23<br>(0.14+0.09) <sup>1</sup>                             |
| 6  | Pompa osadu recyrk.     | 508                              | 3.0                                    | 0.01                                                         |
| 7  | Osadnik wtórny          | 155                              | 0.9                                    | 0.01                                                         |
| 8  | Mieszanie chemikaliów   | 552                              | 3.2                                    | 0.01                                                         |
| 9  | Pompa zasilająca filtr  | 822                              | 4.8                                    | 0.02                                                         |
| 10 | Filtracja               | 385                              | 2.2                                    | 0.01                                                         |
| 11 | Chlorowanie             | 27                               | 0.1                                    | pomijalne                                                    |
| 12 | Zagęszczacz grawiacyjny | 25                               | 0.1                                    | pomijalne                                                    |
| 13 | Zagęszczacz flotacyjny  | 2022                             | 11.8                                   | 0.05                                                         |
| 14 | Fermentacja beztlenowa  | 1700                             | 10.0                                   | 0.05                                                         |
| 15 | Odwadnienie taśmowe     | 457                              | 2.7                                    | 0.01                                                         |

<sup>1</sup> cyfry na zewnątrz nawiasów są zużyciem energii potrzebnej do całkowitego usunięcia ChZT i nityfikacji łącznie, podczas gdy pierwsza i druga liczba w nawiasie to odpowiednio indywidualne zużycie energii dla usunięcia ChZT i nityfikacji.



|                                | Oczyszczanie ścieków |                      |               |
|--------------------------------|----------------------|----------------------|---------------|
|                                | Pompy wlotowe        | Procesy oczyszczania | Obróbka osadu |
| <b>Zużycie energii w %</b>     | <b>25</b>            | <b>60</b>            | <b>15</b>     |
| Pompowanie                     | X                    |                      | X             |
| Osadnik wstępny                |                      | X                    |               |
| Mieszanie/koagulacja           |                      | X                    |               |
| Usuwanie biogenów              |                      | X                    |               |
| Pompowanie osadu recyrkulowan. |                      | X                    |               |
| Zagęszczanie/odwadnianie       |                      | X                    |               |
| Fermentacja/ko-fermentacja     |                      | X                    |               |
| Suszenie osadu                 |                      | X                    |               |
| Biogaz / CHP                   |                      | X                    |               |
| Energia słoneczna              |                      | X                    |               |
| Małe turbiny wodne             | X                    |                      |               |
| Turbiny wiatrowe               |                      |                      | X             |

| Etap oczyszczania                        | Udział zużycia energii | Potencjał oszczędności energii                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pobór ścieków (pompowanie)               | 10%                    | 5-10% poprzez poprawę pracy istniejących pomp. Do 30% dzięki lepszej konserwacji i dokładniejszej regulacji do rozmiaru ładunku.                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Oczyszczanie (natlenianie)               | 55%                    | 20-50% poprzez lepsze dostosowanie parametrów sterowania ze standardami na odpływie np poprawa/ instalacja systemu kontroli on-line.                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Obróbka osadu (odwadnianie i pompowanie) | 35%                    | 30% efektywności energetycznej można osiągnąć przez zastosowanie tradycyjnej fermentacji mezofilowej z CHP. Zastosowanie wstępnego kondycjonowania (np hydroliza termiczna) osadu lub fermentacji termofilowej może zwiększyć efektywność do 50%. Dalsze zastosowanie zaawansowanego procesu zintegrowanego z ko-fermentacją i wykokosprawną CHP mogą zwiększyć efektywność energetyczną do 80%. |

Procesy oczyszczania wstępnego zużywają około **11% całkowitego zużycia energii** na oczyszczalni. Wiążą się głównie z energią na **mieszanie i pompowanie** skrutek, piasku i osadu wstępnego.

**Flokulacja** odgrywa ważną rolę w tym stopniu oczyszczania. Jest to proces o **niskim zużyciu energii** i może być hydrauliczny lub mechaniczny. Pobór mocy zależy od wielkości kłaczków wymaganych dla przeprowadzenia procesu klarowania.

Procesy oczyszczania wstępnego usuwają zawiesinę poprzez osadzanie/**strącanie** (zbiorniki sedymentacyjne) lub poprzez **flotację** (flotacja rozpuszczonego powietrza - DAF). Metoda oczyszczania DAF wymaga systemu wtrysku powietrza, który jest energochłonny (8-12%). Stężenie usuniętego osadu z osadnika różni się w szerokim zakresie. Zależy to od typu osadnika i metody usuwania osadu. Im wyższe jest stężenie tym niższe straty wody i mniejsza kubatura jednostki obróbki osadu.

**Zaoszczędzić energię można** poprzez regulację pracy zgarniaków na podstawie natężenia przepływu na wejściu i szybkość przepływu osadu recyrkulowanego lub w połączeniu ze stężeniem zawiesiny w zbiorniku napowietrzania lub osadem powrotnym, zamiast na podstawie stałego natężenia przepływu (zwykle przepływu pory deszczowej). W tym celu zgarniaki powinny mieć regulowaną prędkość i możliwość dostosowania w systemie operacyjnym (kontrola procesu).

Optymalizacja wstępnego procesu oczyszczania wpływa pośrednio na produkcję energii w zakładzie. Nowe podejście jest wdrażane w wielu oczyszczalniach ścieków, gdzie produkcja osadu wstępnego jest intensyfikowana dzięki chemicznej obróbce wstępnej (**proces CEPT**) lub poprzez użycie drobnych sit lub filtrów bębnowych zamiast zbiorników sedymentacyjnych w celu uzyskania jak największej ilości substancji organicznych w celu fermentacji beztlenowej. Wyższa produkcja osadu wstępnego to większy zysk energetyczny dzięki zwiększonej produkcji biogazu. Przy tym procesie pamiętać jednak należy o zabezpieczeniu etapu denitryfikacji w łatwo rozkładalną substancją organiczną w ścieku po wstępnym oczyszczeniu.

Głównymi **parametrami wpływającym** na procesy wstępnego oczyszczania oraz **zużycie energii** są:

- KWh/ na kg usuniętej zawiesiny TSS – im wyższa zawartość materii organicznej w osadzie wstępnym (wyższy stopień usunięcia materii organicznej ze ścieków) tym wyższa produkcja energii.
- KWh/ na kg P usuniętego chemicznie

Istnieje kilka sposobów na **zwiększenie efektywności energetycznej wtórnego oczyszczania**:

- zastosowanie drobnopęcherzykowych systemów napowietrzania (40-50%)
- prawidłowa konserwacja systemu napowietrzania
- kalibracja czujników
- optymalizacja wieku osadu (1-10%)
- zastosowanie sterowania systemem napowietrzania (optymalizacja pozycjonowania oraz ilości sensorów) (30%)
- zastosowanie napowietrzania przerywanego (do 15%)
- obniżenie poziomu stężenia tlenu (1-10%)
- zastosowanie powietrza wywiewanego (1%)
- zarządzanie przepływem osadu recyrkulowanego (do 55%)

**Kluczowe wskaźniki efektywności energetycznej procesu:**

OCP (potencjał zużycia tlenu)<sub>red</sub> %; kg/RLM/d

energia na napowietrzanie kWh/RLM/day, kWh/kg potrzebnego tlenu; % energii całkowitej

energia na mieszanie kWh/RLM/d, % energii całkowitej

energia/usunięty parametr kWh/kg usuniętego parametru: kWh/kg ChZT<sub>usunięte</sub>, kWh/kg NH<sub>4</sub>

rusunięte, kWh/kg TN<sub>usunięte</sub>, kWh/kg P<sub>bio usunięte</sub>

Doczyszczanie ścieków z usuwaniem substancji biogenych.

Wymagany w oczyszczalniach ścieków komunalnych które odprowadzają ścieki do obszarów wrażliwych na eutrofizację.

**Filtracja** jest procesem wymagających znacznych nakładów energii (ok. 7-12% całkowitej zapotrzebowania na energię). Filtry piaskowe są przeznaczone do usuwania nadmiaru zawiesiny, BZT oraz P.

Ze względu na obawy związane z bezpieczeństwem, obsługą oraz toksycznością związaną z chlorem, **promieniowanie UV** staje się coraz popularniejsze jako alternatywa dla dezynfekcji chemicznej. Wymagania energetyczne dla UV zależą od liczby, typu i konfiguracji lamp używanych do osiągnięcia docelowej dawki promieniowania UV w celu dezaktywacji patogenów.

## TABLE OF CONTENTS

### FEATURES

|                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|                                                              |    |
| <b>TERTIARY TREATMENT TECHNOLOGIES &amp; PRACTICES</b>                                                                                          |    |
| Hybrid Depth Filtration .....                                                                                                                   | 22 |
| A Novel Technology for Meeting Ultra-low Phosphorous Permit Limits.....                                                                         | 26 |
| Optimization of Biological Nutrient Removal (BNR) Facilities to Achieve Consistent and Compliant Effluent Quality.....                          | 30 |
| Full Scale Microfiber Cloth Filter Achieving Ultra-Low Total Phosphorus Limit.....                                                              | 34 |
| Current Best Practices for Chemical Phosphorus Removal.....                                                                                     | 38 |
| Tertiary Disk Filters at the Kitchener WWTP .....                                                                                               | 42 |
| Decentralized Tertiary Wastewater Treatment Plant with a Sub-Surface Disposal System for a New Residential Development in the Town of Mono..... | 44 |
| Proven and Emerging Technologies to Achieve Ultra-Low Phosphorus Limits.....                                                                    | 46 |
| The City of Barrie: Moving Beyond Tertiary Treatment .....                                                                                      | 50 |
| Optimizing Tertiary Treatment at the Lindsay Water Pollution Control Plant.....                                                                 | 52 |

Trzeci stopień oczyszczania to również oczyszczanie **strumieni bocznych** np. wód odciekowych z odwodnionego osadu po fermentacji.

Przykład – **deamonifikacja** – proces biologiczny autotroficzny stosowany dla oczyszczania strumieni o wysokim stężeniu azotu.

**Zwiększa wydajność głównego ciągu technologicznego i pozwala na oszczędność energii na napowietrzanie.**

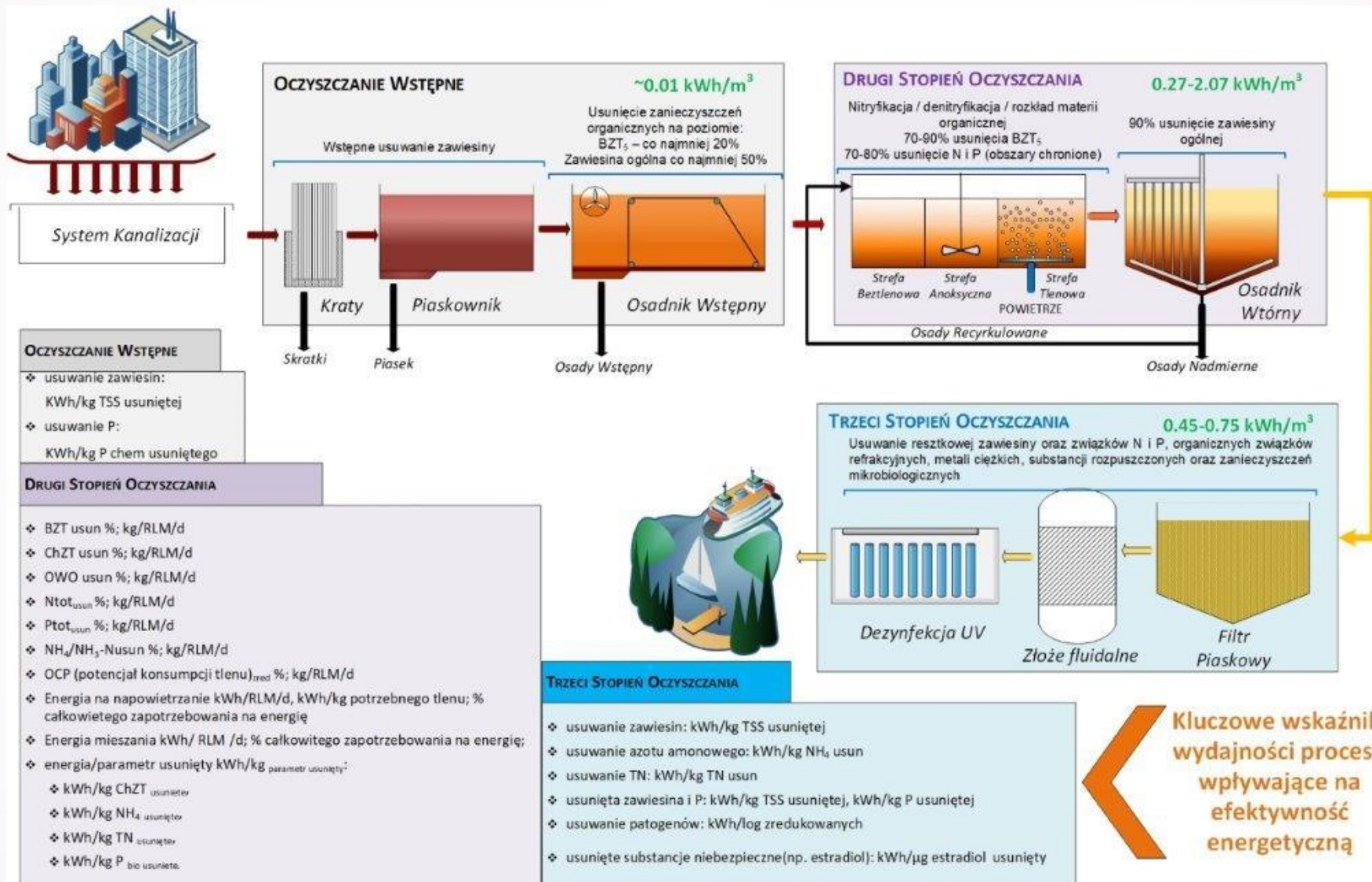
Proces składa się z dwóch etapów: utleniania amoniaku do azotynów (częściowa nitrytacja), a następnie na konwersji w warunkach beztlenowcy pozostałego amoniaku z azotynami do azotu gazowego (Anammox).

Wymagania: niski stosunek C/N i wysoka temperatura.

Dane na temat pełnej skali z oczyszczalni w Strass w Austrii wskazują, że zużycie energii do usuwania azotu z wód odciekowych wynosiło 1,16 kWh/kgN, co jest znacząco niższe w porównaniu z 6,5 kWh/kgN przypadające na oczyszczanie strumienia głównego (Wett, 2007).

Po zastosowaniu Anammox w strumieniu bocznym zużycie tlenu dla usunięcia amoniaku zmniejszyło się o 50%, co odpowiada około 12% oszczędności całkowitego zużycia energii elektrycznej na oczyszczalni.



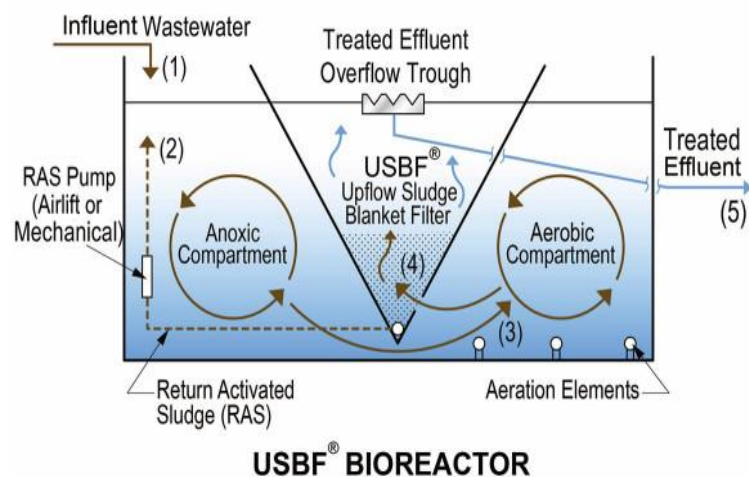


## Zaawansowane oczyszczanie wstępne

Poprzez zastosowanie drobnych sit/filtrów zamiast osadnika wstępnego - więcej BZT → więcej biogazu. Uwaga 1: w ściekach musi pozostać wystarczająca zawartość BZT w celu efektywnego przeprowadzenia procesu usuwania azotu; Uwaga 2: wzrost produkcji osadu wstępnego i większa wydajność fermentacji beztlenowej → wzrost ładunku azotu w odciekach; w tym przypadku można zastosować zaawansowane metody oczyszczania strumienia odciekowego.

## Upflow Sludge Blanket Filtration (USBF).

Proces USBF oparty jest na technice rozdziału osadu/ciecz i konstrukcji kształtu litery V. W konfiguracji tej nie jest wymagany zgarniacz, a pompa osadu recykulowanego wymaga niżej wysokości podnoszenia w porównaniu z konwencjonalnymi osadnikami. Obie różnice pozwalają na niższe zużycie energii, ale należy dokonać dokładnego porównania z konwencjonalnymi osadnikami.



## Sekwencyjne reaktory biologiczne (SBR)

Poprzez sekwencyjne oczyszczanie ścieków można oszczędzać energię w odniesieniu do systemów recykulacyjnych. Systemy SBR można budować modułowo, w przypadku większych oczyszczalni ścieków liczba modułów się zwiększa.

## *Beztlenowe usuwanie azotu*

Większość nowoczesnych propozycji obejmuje wdrożenie lepszej kontroli istniejących procesów. Jest to wykonalne w stosunkowo krótkim czasie i stosunkowo niskich kosztach. Bardziej radykalną propozycją o większych możliwych korzyściach jest **zastąpienie obecnych systemów tlenowych procesami beztlenowymi w niskich temperaturach – REWOLUCJA!**

Podniesienie temperatury - z osadu obrabianego na miejscu lub innych zewnętrznych odpadów organicznych

Główną korzyścią będzie obniżenie kosztów napowietrzania.

Inna propozycja - przejście na procesy beztlenowe w niskich temperaturach i stosowanie bioreaktorów membranowych (Caffoor, 2010 ).

Szacuje się, że do roku 2030 oczyszczanie tlenowe, które pochłania 0,15-0,7 kWh/m<sup>3</sup>, może zostać zastąpione przez procesy beztlenowe, wytwarzające **1,7 kWh /m<sup>3</sup>** (WssTP, 2011; GWRC, 2010).

Wett i inni (2007) proponuje następujące rozwiązanie:

- zintensyfikowane oczyszczanie wtępne z zastosowaniem polimeru organicznego do strącania w celu zwiększenia produkcji osadu wstępnego → biogazu w fermentacji,
- proces osadu czynnego z krótkim czasem zatrzymania osadu i hydraulicznym w celu adsorpcji koloidalnego i rozpuszczalnego ChZT dla większej produkcji biogazu,
- dynamiczna kontrola napowietrzania i pH,
- termiczna obróbka osadu przed fermentacją,
- generatory wysokiej sprawności lub ogniwo paliwowe do wytwarzania energii elektrycznej oraz
- zastosowanie Anammox dla wód odciekowych

## Inteligentne Wykorzystanie Potencjałów

# DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ!



**Upowszechnienie wykorzystania ETV  
w celu poprawy efektywności  
energetycznej sektora wodno-ściekowego**