



Metody zagospodarowania osadów ściekowych ABRYS - 19. Konferencja

Efektywność energetyczna przedsiębiorstw wodociągowych
i kanalizacyjnych - wpływ osadów ściekowych

UNIEJÓW

01 Październik 2025r.

Andrzej DZIUBA

Efektywność energetyczna przedsiębiorstw wodociągowych i kanalizacyjnych - wpływ osadów ściekowych

- Osady ściekowe – „skarb” czy „przekleństwo”?

Podstawowe problemy:

- Energochłonność procesów przetwarzania w szczególności w sytuacji stabilizacji tlenowej
- Energochłonność procesów odwadniania
- Energochłonność zaawansowanych procesów przetwarzania np. w drodze suszenia

We wszystkich przypadkach, problemy proporcjonalne są do końcowej ilości wytworzonych osadów, a w szczególności w sytuacji braku energetycznego wykorzystania.

Najbardziej niekorzystne sytuacje:

- Stosowanie stabilizacji tlenowej osadów
- Zawansowane przetwarzanie osadów z zastosowaniem suszenia bez wykorzystania energetycznego tak przygotowanego materiału

Szansa - wykorzystanie energetyczne osadów poprzez

- Przetwarzanie na drodze biologicznej w procesie fermentacji metanowej do produkcji biogazu i jego wykorzystaniem do produkcji energii elektrycznej i ciepłej
- Bezpośrednie wykorzystanie energetyczne poprzez spalanie i odzysk ciepła i produkcję energii elektrycznej

Efekt „uboczny” procesu głębszego przetwarzania osadów - zmniejszenie jego końcowej ilości, a co za tym idzie kosztów i energochłonności dalszego jego zagospodarowania.

Efektywność energetyczna przedsiębiorstw wodociągowych i kanalizacyjnych - wpływ osadów ściekowych

Poprawa efektywności energetycznej - dlaczego osady?



Potencjalne miejsca wdrożenia rozwiązań poprawiających efektywność energetyczną oczyszczalni ścieków:

- Panele fotowoltaiczne
- Zmiany technologii procesu oczyszczania ścieków, w szczególności:
 - Optymalizacja procesu oczyszczania biologicznego głównie w celu zmniejszenia intensywności napowietrzania
 - Zastosowanie sprawniejszego wyposażenia
- Optymalizacja / budowa ciągu przetwarzania osadów, w tym:
 - Ograniczenie tlenowej stabilizacji osadów
 - Zastosowanie (tam gdzie jeszcze nie ma) procesu beztlenowego przetwarzania osadów wraz z produkcją biogazu
 - optymalizacja procesów fermentacji w miejscach istniejących już węzłów fermentacji
 - Wykorzystanie istniejącej infrastruktury do wprowadzenia kofermentacji wybranych odpadów organicznych z osadami ściekowymi / Instalacje regionalne ?
 - ? Inne sposoby przetwarzania energetycznego osadów ? Spalanie/zgazowanie?
- ? Pompy ciepła ?

Efektywność energetyczna przedsiębiorstw wodociągowych i kanalizacyjnych - wpływ osadów ściekowych

Przegląd stosowania procesów fermentacji na oczyszczalniach ścieków w Polsce

udział oczyszczalni z fermentacją w zależności od minimalnej wielkości – cz1



projektowana wydajność [RLM]	Całkowita Ilość oczyszczalni	Ilość oczyszczalni z fermentacją	Udział oczyszczalni z fermentacją
> 1 000 000	4	4	100%
> 500 000	12	11	92%
> 200 000	46	39	85%
> 100 000	97	75	77%
> 60 000	175	115	66%
> 40 000	248	132	53%
> 19 000	412	150	36%

Tabele opracowani na podstawie danych z KPOŚK - 2023r. z uwzględnieniem uzupełnień własnych

Ponad połowa oczyszczalni o wielkości > 40.000 RLM stosuje fermentację osadów z wytwarzaniem i wykorzystaniem biogazu

projektowana wydajność Od - Do [RLM]		Całkowita Ilość oczyszczalni	Ilość oczyszczalni z fermentacją	Udział oczyszczalni z fermentacją
1 000 000	> 1 000 000	4	4	100%
500 000	1 000 000	8	7	88%
200 000	500 000	34	28	82%
100 000	200 000	51	36	71%
60 000	100 000	78	40	51%
40 000	60 000	73	17	23%
19 000	40 000	164	18	11%

Tabele opracowani na podstawie danych z KPOŚK - 2023r. z uwzględnieniem uzupełnień własnych

Wielkość oczyszczalni jest głównym czynnikiem wpływającym na decyzję o stosowaniu fermentacji

Kierunki optymalizacji procesu fermentacji pod kątem zwiększenia efektywności energetycznej oczyszczalni opierają się w praktyce na jednym wspólnym założeniu:
zwiększenie produkcji biometanu netto,

Cel ten można osiągnąć poprzez analizę trzech kierunków optymalizacji:

- Zwiększenie stopnia przetwarzania osadów i w efekcie produkcji biogazu poprzez wprowadzone zmiany i modernizacje rozwiązań technologicznych
- Ograniczenie potrzeb własnych procesu np. modernizację sposobu mieszania, zwiększenia stopnia zagęszczenia podawanych osadów i ograniczenie (o ile to możliwe) liczby pracujących komór (ciągłe mieszanie + cyrkulacje 24/7)
- Zwiększenie wsadu do procesu fermentacji poprzez wprowadzenie kofermentacji

Efektywność energetyczna przedsiębiorstw wodociągowych i kanalizacyjnych - wpływ osadów ściekowych

Kofermentacja – założenia wstępne dla określenia wsadu do kofermentu



Rodzaj materiału do kofermentacji – podstawowy podział:

- stan fizyczny:
 - medium w stanie płynnym, pompowalne, o przepływie swobodnym,
 - Materiał o strukturze stałej lub plastycznej np. osady odwodnione,
- Rodzaj substancji:
 - osad ściekowy zagęszczony max 7% s.m. (płynny) lub odwodniony,
 - odpady płynne organiczne z przemysłu spożywczego tj. mleczarnie, gorzelnie, produkcja soków itp.,
 - mieszanina tłuszczu i ścieków z separatorów tłuszczu i tłuszcze z przemysłu spożywczego,

Odpady wymagające znacznej ingerencji wynikające z konieczności ich dodatkowego przygotowania

- odpady zielone w tym rolnicze – wysoki udział trudno rozkładalnej celulozy
- Odpady z przetwórstwa mięsnego w szczególności ubojnie – bezpieczeństwo sanitarne
- Odpady spożywcze w opakowaniach handlowych – separacja opakowań

Efektywność energetyczna przedsiębiorstw wodociągowych i kanalizacyjnych - wpływ osadów ściekowych

Kofermentacja – założenia wstępne dla określenia wsadu do kofermentu



Potencjalne zanieczyszczenia kofermentu:

Typowe zanieczyszczenia wymagające uwzględnienia w projektowanym węźle przyjmowania kofermentu:

- Twarde
nie większe niż 5 - 10mm, nie więcej niż 1 - 3% objętościowo (założenia do weryfikacji, zależne od stosowanych maceratorów lub innych rozdrabniaczy)
- Miękkie włókniste
nie większe niż 5cm, nie więcej niż 0,5% objętościowo (założenia do weryfikacji),
- Mineralne
nie więcej niż 1 - 3% masowo (założenia do weryfikacji, zależnie np. od zastosowania separatorów piasku, hydrocyklonów itp.),

zanieczyszczenia niedopuszczalne:

- Tworzywa sztuczne,
- Metale ciężkie,
- Substancje inhibitujące procesy biologiczne,
- Mikrozanieczyszczenia mogące mieć wpływ na możliwość końcowego zagospodarowania osadów

Materiały o wysokiej podatności na biodegradację:

- Odpady spożywcze
 - z przetwórstwa mleczarskiego (np. serwatka, odpady z produkcji sera)
 - destylarni i browarów (np. zużyte ziarna, drożdże),
 - Rzeźni i przetwórstwa mięsa, w tym produkty uboczne zwierzęce (np. krew, tłuszcz, podroby)
 - z przetwórstwa owoców i warzyw

Szybko rozkładające się przez mikroorganizmy, wysoka produkcja biogazu (uwaga na możliwe zanieczyszczenia).

- Obornik drobiowy: Bogaty w łatwo biodegradowalne składniki, szybki rozkład.
- Odpady z rolnictwa:
 - Kiszonki z kukurydzy, traw itp.
 - Rośliny energetyczne,
 - Obornik, gnojowica

Bardzo łatwo dostępna dla mikroorganizmów, wysoka wydajność biogazu.

Efektywność energetyczna przedsiębiorstw wodociągowych i kanalizacyjnych - wpływ osadów ściekowych

Kofermentacja – przykłady substratów i ich podatność na biodegradację



Materiały o średniej podatności na biodegradację:

- Obornik krowi: Zawiera włókna trudniej rozkładające się, ale nadal dobrze biodegradowalny.
- Odpady z przetwórstwa owoców i warzyw: Biodegradowalne, ale niektóre części (np. skórki) mogą wymagać więcej czasu lub dodatkowej obróbki np. hydrolizy termicznej
- Słoma: Średnio biodegradowalna, wymaga odpowiedniego przygotowania (np. mielenia) przed fermentacją.

Materiały o niskiej podatności na biodegradację:

- Drewno i trociny: Zawierają ligninę, która jest trudna do rozłożenia przez mikroorganizmy.
- Sierść zwierząt, pióra: w praktyce nierozkładalne przez mikroorganizmy odpowiedzialne za proces fermentacji

Elementy składowe węzła recepcji materiału do kofermentacji (dla frakcji płynnej)

Węzeł recepcji (instalacja podstawowa):

- stacja zlewczą wyposażoną w:
 - hermetyczne podłączenie, beczki opróżniane ciśnieniowo
 - automatyczny zawór odcinający
 - pomiar przepływu, odczynu pH, temperatury, przewodności ρ_{OWO} lub ChZT?
 - sito 5mm (3mm) , łapacz kamieni, macerator frezowy
- Stacja automatycznego poboru prób (dla ewentualnej późniejszej weryfikacji jakości dostarczonego kofermentu poprzez analizy laboratoryjne /przydatne szczególnie na początku współpracy z dostawcami)
- Zbiornik buforowy
 - pojemność dla magazynowania dobowej ilości przyjmowanych odpadów
 - doprowadzenie ciepłego osadu przefermentowanego dla ewentualnego częściowego podgrzania wsadu, mieszadła, opomiarowanie

Elementy składowe węzła recepcji materiału do kofermentacji (dla frakcji płynnej)

Węzeł obróbki wstępnej

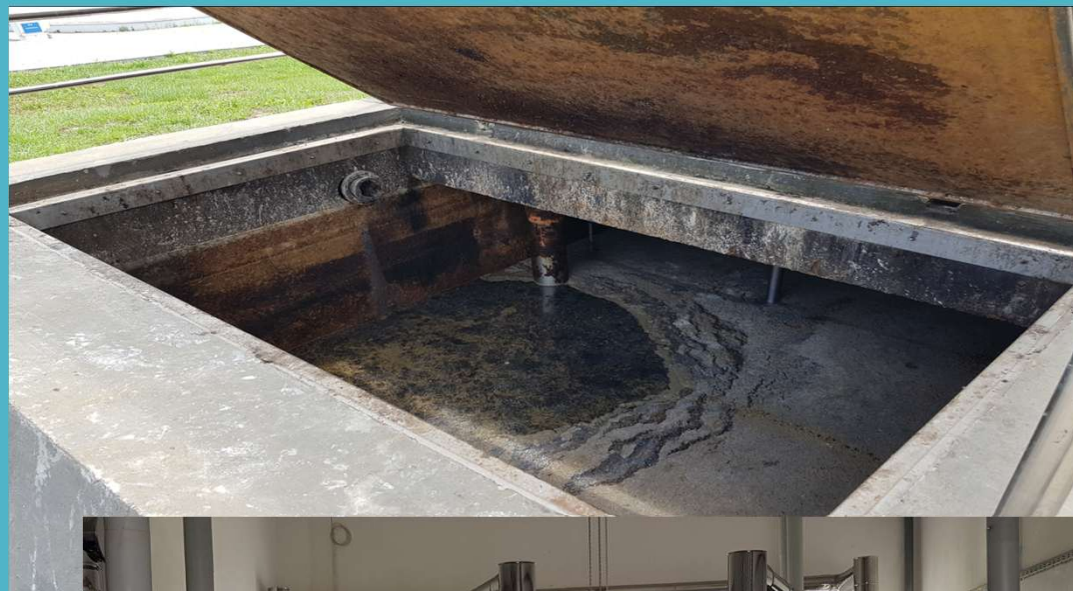
- Obieg cyrkulacji kofermentu w zbiorniku wyposażony w maceratory frezowy i nożowy, sito osadu 3mm , separator piasku lub hydrocyklon,
- Zbiornik produktu – materiału do kofermentacji po obróbce wstępnej, pojemność dla magazynowania 1-2 d ilości wsadu do kofermentacji (dla równomiernego dociążania fermentacji w okresie weekendów)
- Instalacja pasteryzacji – w skład której wchodzić będą wymiennik ciepła i zbiornik zapewniający wymagany czas reakcji dla osiągnięcia efektu pasteryzacji

Węzeł przyjmowania osadów odwodnionych (np. dla instalacji regionalnej)

- Recepcja osadów odwodnionych wyposażona w zbiornik z ruchomym dnem i pompą osadu odwodnionego,
- Zbiornik z doprowadzeniem ścieków i osadów przefermentowanych dla rozcieńczania osadu odwodnionego i przygotowania płynnego wsadu do fermentacji

Efektywność energetyczna przedsiębiorstw wodociągowych i kanalizacyjnych - wpływ osadów ściekowych

Kofermentacja – elementy składowe węzła recepcji



Zbiorniki wsadu do kofermentacji: osobny na odpady zielone i osobny na tłuszcze + instalacja pasteryzacji

Możliwości intensyfikacji procesu fermentacji

- Zwiększenie stopnia zagęszczenia osadu podawanego do komór fermentacji (pompowanie i grzanie osadu w miejsce grzania i pompowania „wody”)
- Zapewnienie skutecznego i energooszczędnego mieszania dostosowanego do kształtu komory,
- Stabilizacja prowadzenia procesu pod kątem obciążeń oraz zmienności temperatur,
- Zmiany w procesie oczyszczania ścieków poprzez:
 - Zwiększenie stopnia oczyszczania wstępnego dla zwiększenia ilości osadu wstępnego i zmniejszenia udziału w wytwarzanych osadach osadu nadmiernego
 - Ograniczenie efektu częściowej stabilizacji tlenowej osadu w KOCz (oczywiście pod kontrolą dla zachowania bezpieczeństwa pracy oczyszczalni w jej podstawowej funkcji),
- Odzysk biogazu ze zbiorników osadu przefermentowanego (odgazowanie osadu przed odwadnianiem) lub wykorzystanie zbiorników magazynowych dla „dofermentowania” osadu,
- Wprowadzenie zaawansowanych procesów fermentacji z wydzieleniem procesów hydrolizy

Po co ta hydroliza?

Hydroliza jest pierwszym etapem procesu fermentacji. Polega na rozkładzie materii organicznej zawierającej złożone cząsteczki, takie jak białka, tłuszcze i węglowodany i ich przekształcanie w prostsze cukry, aminokwasy i kwasy tłuszczowe, stanowiące substrat dla kolejnych etapów procesu fermentacji Acetogenezy i Metanogenezy.

W warunkach klasycznej fermentacji proces ten zachodzi w drodze przemian biologicznych w komorze fermentacji i wymaga zachowania równowagi w składzie hodowanych bakterii dla zachowania wszystkich kolejnych etapów rozkładu z finalną produkcją biogazu.

W przypadku zastosowania hydrolizy termicznej następuje przyśpieszony rozkład w drodze oddziaływania czynników fizykochemicznych bez udziału bakterii odpowiedzialnych za wstępny rozkład i bez ich oddziaływania na bakterie odpowiedzialne za kolejne etapy przemian. W efekcie w komorach fermentacji z wydzielonym procesem hydrolizy tworzą się warunki dla sprawniejszej działalności bakterii kolejnych faz rozkładu.

Niezależnie od powyższego wydzielony proces hydrolizy ma za zadanie zniszczenie komórek osadu czynnego i uwolnienie zawartej w nich biomasy do procesu fermentacji (materia w dużej mierze niedostępna w warunkach klasycznej fermentacji bez zapewnienia odpowiednio długiego czasu fermentacji).

Warianty zastosowania hydrolizy termicznej

- Hydroliza pełnego strumienia osadów kierowanych do fermentacji
- Hydroliza osadu przefermentowanego
 - Hydroliza końcowa dla fermentacji jednostopniowej
 - Hydroliza pośrednia w układach fermentacji dwustopniowej
- Hydroliza osadu nadmiernego

Kryteria wyboru tzw. „drivery”

- Pełne bezpieczeństwo sanitarne produktu powstającego z przetwarzanych osadów
- Maksymalizacja stopnia rozkładu osadu i w efekcie minimalizacji jego końcowej ilości po przetworzeniu (niezależnie do dalszego postpowania)
- Maksymalizacja efektywności energetycznej procesu fermentacji – uwaga! nie jest jednoznaczne z największą produkcją biogazu
- Minimalizacja wielkości i ilości komór fermentacji (także dla ograniczenia zużycia energii potrzebnej na „obsługę” dodatkowych lub większych zbiorników

Efektywność energetyczna przedsiębiorstw wodociągowych i kanalizacyjnych - wpływ osadów ściekowych

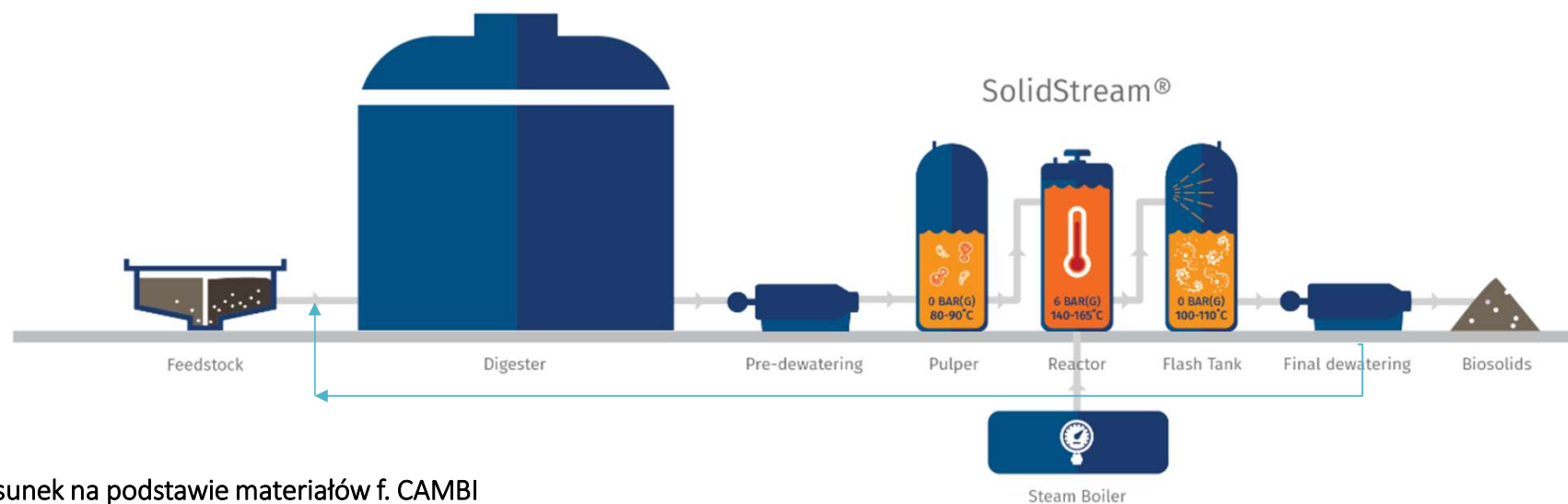
Intensyfikacja procesów fermentacji – zastosowanie hydrolizy termicznej



Hydroliza końcowa

Podstawą fermentacji są „świeże” osady wzbogacone o frakcje płynną z procesu odwadniania końcowego osadu shydrolizowanego, zawierającej największy udział frakcji organicznej w formie rozpuszczonej i drobnej zawiesiny

Thermal hydrolysis after anaerobic digestion



Rysunek na podstawie materiałów f. CAMBI

Hydroliza termiczno-ciśnieniowa osadu przefermentowanego dla osiągnięcia max stopnia odwodnienia końcowego (~40% s.m., oraz maksymalizację stopnia rozkładu osadu i produkcji biogazu, z uwagi na rozcieńczanie osadów odciekami wymagana jest większa pojemność komór niż w przypadku innych zastosowań hydrolizy.

Efektywność energetyczna przedsiębiorstw wodociągowych i kanalizacyjnych - wpływ osadów ściekowych

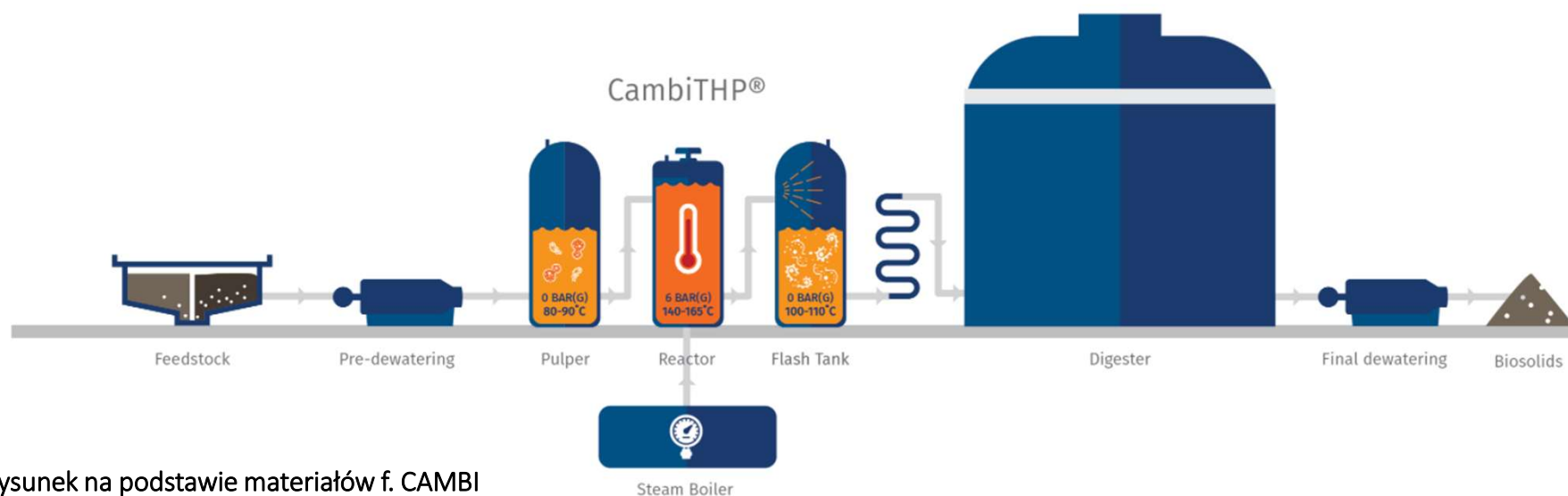
Intensyfikacja procesów fermentacji – zastosowanie hydrolizy termicznej



Hydroliza wstępna

Stosowana w celu zwiększenia efektywności fermentacji przy jednoczesnym ograniczeniu wielkości i ilości komór fermentacji

Thermal hydrolysis before anaerobic digestion



Rysunek na podstawie materiałów f. CAMBI

Fermentacja osadów z hydrolizą termiczno-ciśnieniową pełnego strumienia osadów (**minimalizacja wielkości komór fermentacji**) przy jednoczesnym zwiększeniu efektywności fermentacji i pełnej sterylizacji wsadu

Np. OS w Tarnowie, OS Cielcza w Jarocinie,
OS w Bydgoszczy

Efektywność energetyczna przedsiębiorstw wodociągowych i kanalizacyjnych - wpływ osadów ściekowych

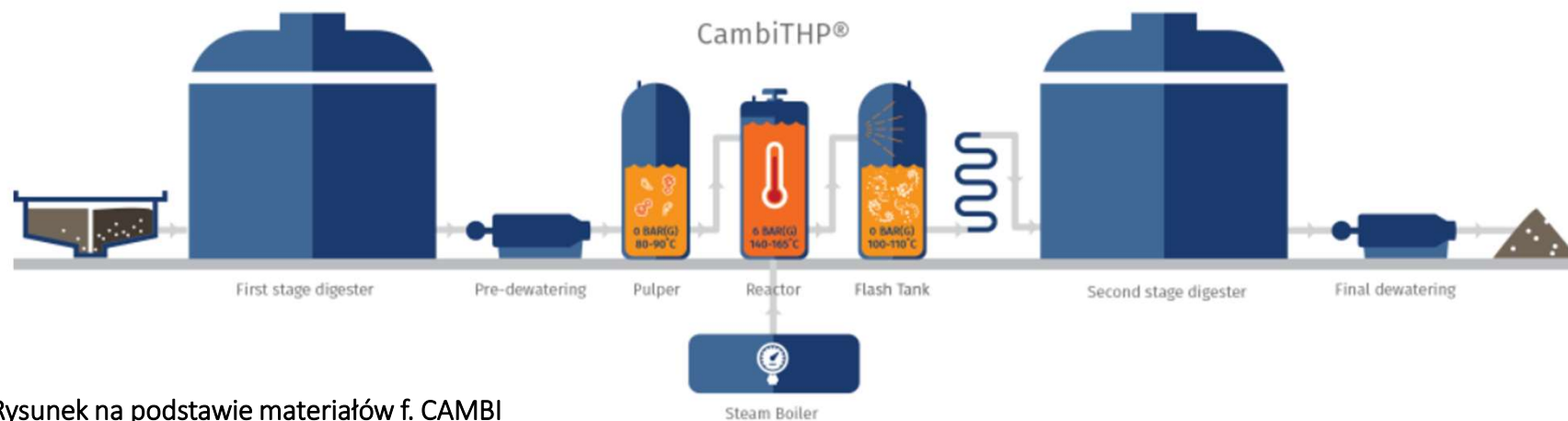
Intensyfikacja procesów fermentacji – zastosowanie hydrolizy termicznej



Hydroliza pośrednia i fermentacja dwustopniowa

Większa efektywność rozkładu jak dla hydrolizy wstępnej jednak nie tak wysoka jak hydrolizy końcowej, umożliwia jednak zastosowanie mniejszej instalacji z uwagi na kierowanie do niej osadów już przefermentowanych,

Thermal hydrolysis between digesters



Rysunek na podstawie materiałów f. CAMBI

fermentacja dwustopniowa z zastosowaniem hydrolizy osadów przefermentowanych po pierwszym stopniu fermentacji w celu przygotowania wsadu do drugiego stopnia fermentacji (umożliwia zastosowanie procesu hydrolizy do części organicznych nie rozłożonych w I stopniu tj. klasycznej fermentacji podczas gdy substancje łatwo rozkładalne fermentowane są w układzie klasycznym).

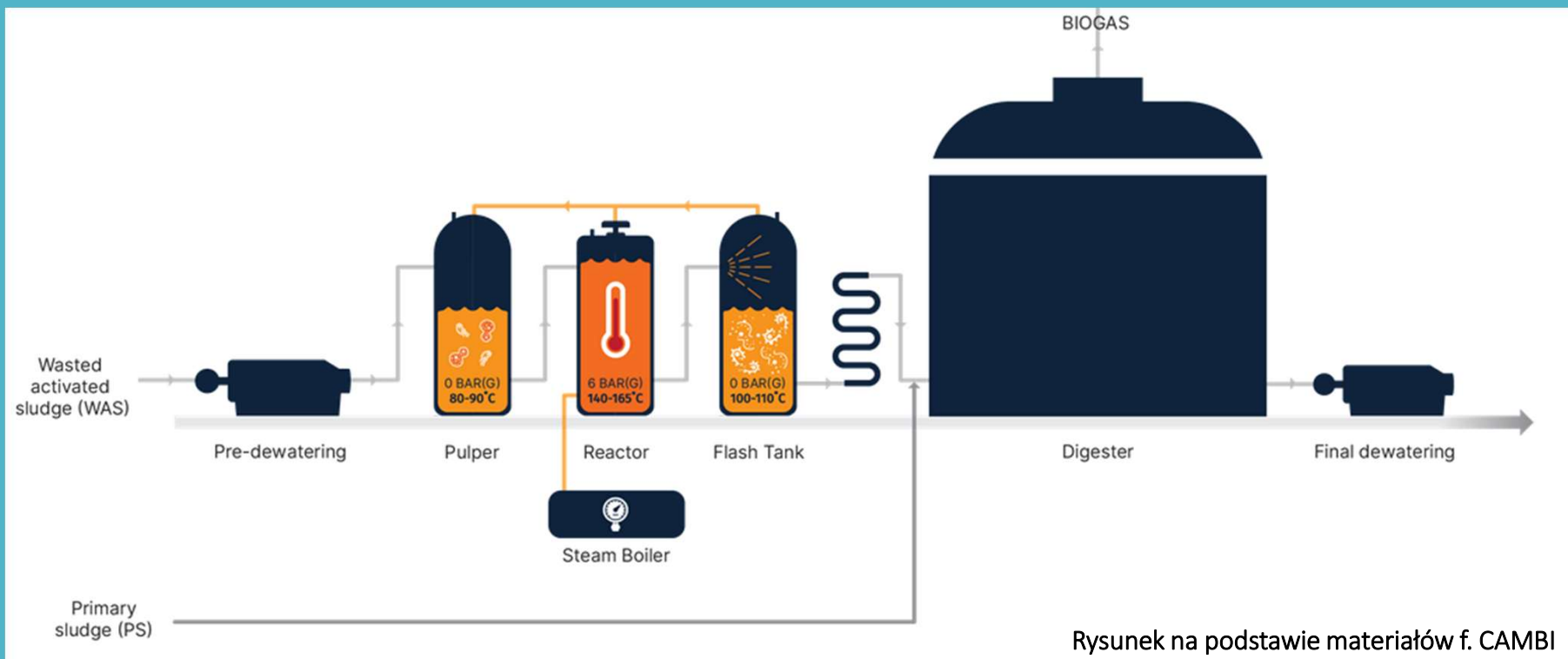
Efektywność energetyczna przedsiębiorstw wodociągowych i kanalizacyjnych - wpływ osadów ściekowych

Intensyfikacja procesów fermentacji – hydrolizy termicznej



Hydroliza osadu nadmiernego

Procesy kondycjonowania osadu ograniczone są do osadu nadmiernego podczas gdy osad wstępny jako materiał łatwo rozkładalny nie podlega obróbce i służy jako medium schładzające



zastosowanie hydrolizy ograniczonej do osadu nadmiernego jest najbardziej efektywnym pod względem energetycznym rozwiązaniem dzięki ograniczeniu potrzeb grzewczych tylko do osadu nadmiernego, zwiększenie efektu rozkładu osadu nie jest tak duże jak w pozostałych wariantach jednak ciągle wyższe od układów klasycznej fermentacji

Czy tylko hydroliza?

Jako element optymalizacji procesów fermentacji istniejących i projektowanych instalacji, warto rozważyć rozwiązanie wprowadzenia dwustopniowej fermentacji.

W warunkach fermentacji klasycznej (bez hydrolizy), fermentacji dwustopniowa w praktyce jest układem fermentacji jednostopniowej z komorą odgazowania i ewentualnie wygaszania procesu fermentacji z jednoczesnym ujmowaniem biogazu resztkowego, bez intensywnego procesu fermentacji.

Jako opcje można jednak zastosować układ dwustopniowej fermentacji z wydzieleniem osobnych procesów zachodzących w kolejnych zbiornikach przy jednoczesnym stworzeniu warunków pasteryzacji.

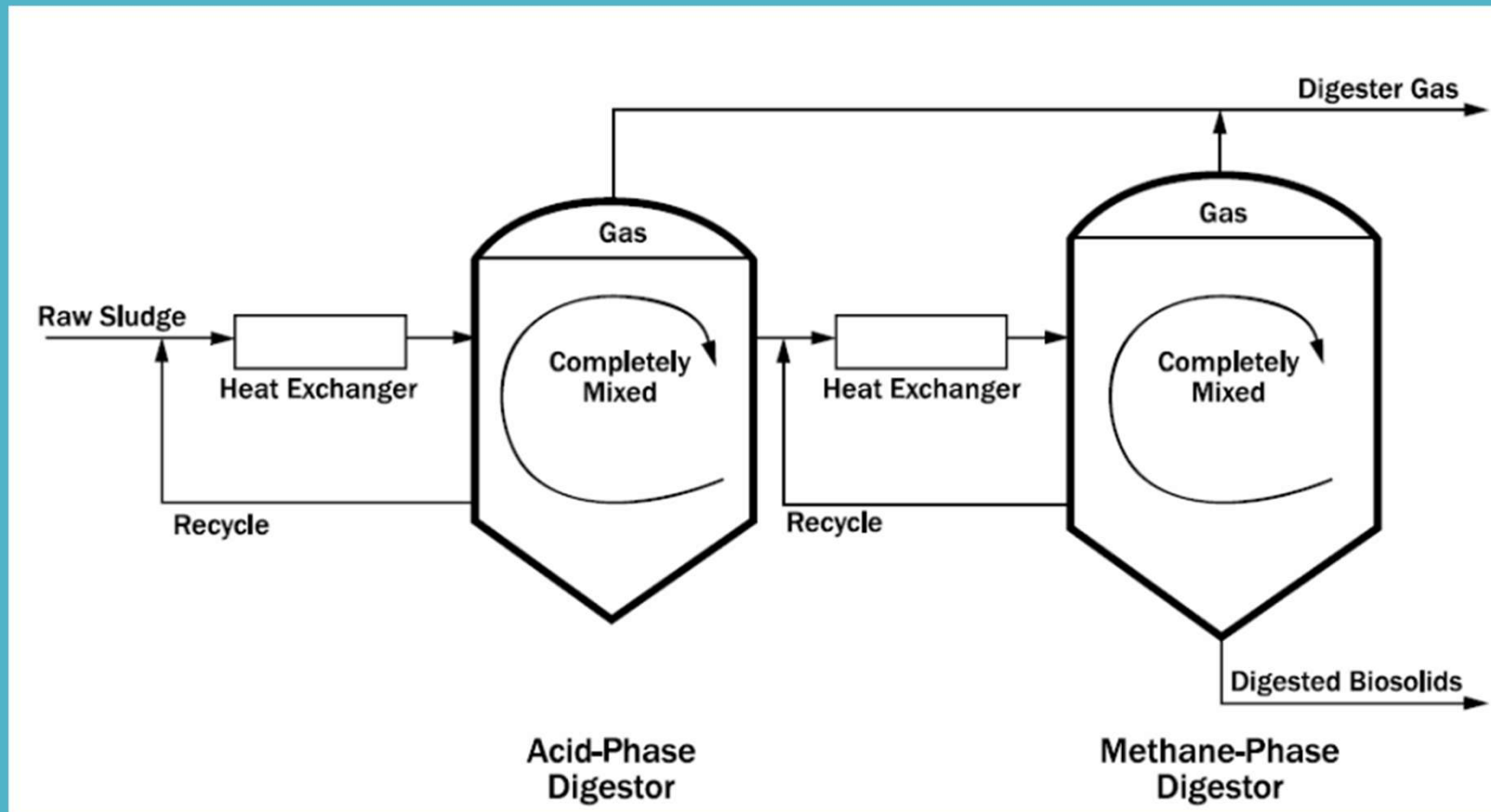
W efekcie uzyskuje się warunki zbliżone do opisanego wcześniej procesu fermentacji poprzedzonej hydrolizą termiczną, poprzez wydzielenie komory dla prowadzenia biologicznej hydrolizy podczas gdy w drugiej komorze zachodzą kolejne etapy fermentacji bez zakłóceń powodowanych równoczesnym utrzymywaniem procesu wstępnego rozkładu materii organicznej.

Efektywność energetyczna przedsiębiorstw wodociągowych i kanalizacyjnych - wpływ osadów ściekowych

Intensyfikacja procesów fermentacji – fermentacja dwustopniowa



Schemat procesu fermentacji dwustopniowej



Rysunek na podstawie Design of Water Resource and Recovery Facilities

Efektywność energetyczna przedsiębiorstw wodociągowych i kanalizacyjnych - wpływ osadów ściekowych

Podsumowanie



Wymagania tzw. Nowej Dyrektywy Ściekowej stawiają nowe wymagania przed Oczyszczalniami ale optymalizacja energetyczna i działania zmierzające do osiągnięcia w jak największym stopniu samowystarczalności to nie tylko kwestia dostosowania się do zmian przepisów prawa ale i rzeczywistych potrzeb zarówno środowiskowych jak i bezpieczeństwa.

Jest wiele sprawdzonych i nowych technologii które można wykorzystać w modernizacji ciągów przetwarzania osadów dla zwiększenia efektywności energetycznej oczyszczalni ale zawsze warto zacząć od weryfikacji podstawowych parametrów jej pracy.

Zwiększenie efektywności energetycznej niekoniecznie musi być upatrywane tylko w zwiększeniu produkcji biogazu. Także zmniejszenie ilości powstających osadów wpływa na ograniczanie energochłonności procesów ich przetwarzania.

Rynek substratów do kofermentacji w zakresie tych „czystych” jest już w dużej mierze zagospodarowany przez komercyjnych odbiorców dlatego każdorazowo warto samodzielnie zweryfikować potencjalne strumienie takich substratów w celu właściwego przygotowania się na ich przyjęcie.

Jednocześnie warto sprawdzić jakie będą efekty uboczne przyjmowania substratów do fermentacji zarówno pod kątem końcowej ilości osadu ale również jego składu, a także wpływu zanieczyszczeń wtórnych na proces oczyszczania ścieków.

Dziękuję za uwagę

