



**Niebieski Ład = zrównoważone
gospodarowanie zasobami wody**

IDENTYFIKACJA INNOWACYJNYCH TECHNOLOGII I ROZWIĄZAŃ W GOSPODARCE WODNO-ŚCIEKOWEJ

Monika Żubrowska-Sudoł



Politechnika Warszawska



Wydział Instalacji
Budowlanych, Hydrotechniki
i Inżynierii Środowiska
Politechnika Warszawska



Zakład Zaopatrzenia w Wodę
i Odprowadzania Ścieków

IDENTYFIKACJA INNOWACYJNYCH TECHNOLOGII I ROZWIĄZAŃ W GOSPODARCE WODNO-ŚCIEKOWEJ

OCZYSZCZALNIA ŚCIEKÓW JAKO CYRKULARNA
BIORAFINERIA

INNOWACYJNE TECHNOLOGIE USUWANIA ZWIĄZKÓW
BIOGENNYCH ZE ŚCIEKÓW

MIKROZANIECZYSZCZENIA W GOSPODARCE
WODNO-ŚCIEKOWEJ

INNOWACYJNE WDRAŻANIE OPRACOWANYCH
ROZWIĄZAŃ

ROLA BADAŃ PODSTAWOWYCH W KREOWANIU
INNOWACYJNYCH TECHNOLOGII I ROZWIĄZAŃ

OCZYSZCZALNIA ŚCIEKÓW JAKO CYRKULARNA BIORAFINERIA



Biogospodarka

Circular economy

ŁAŃCUCHY WARTOŚCI

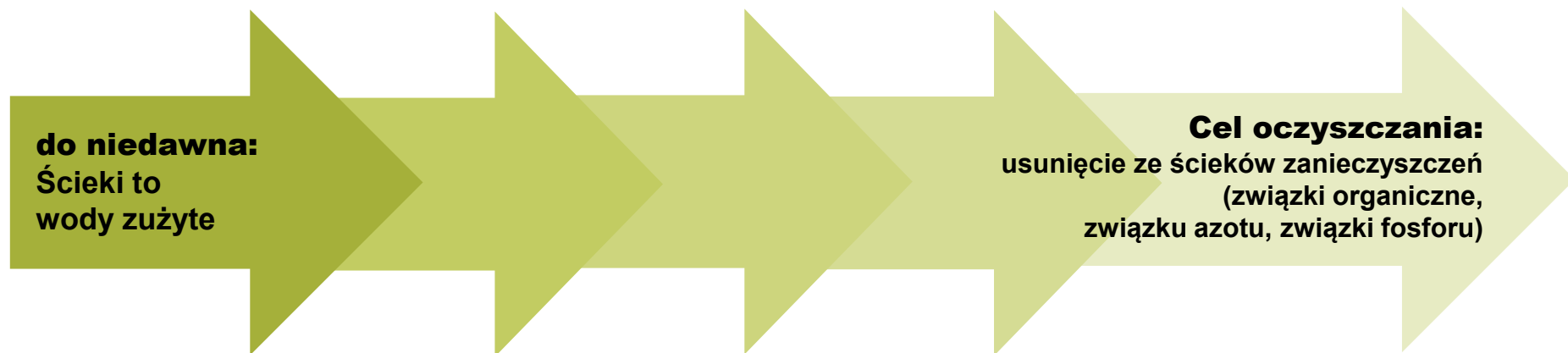
BIOMASA



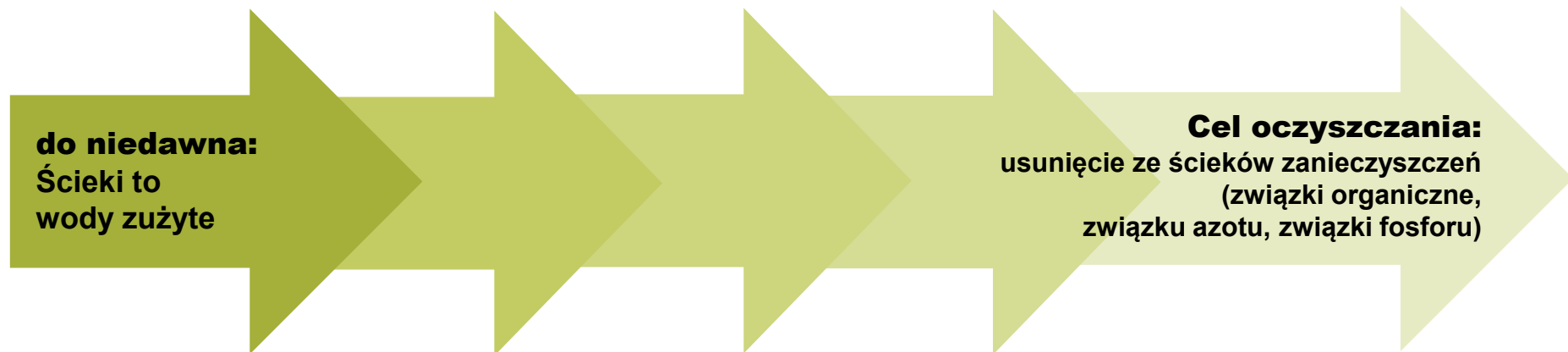
BIORAFINERIE



Oczyszczalnia ścieków w ujęciu konwencjonalnym



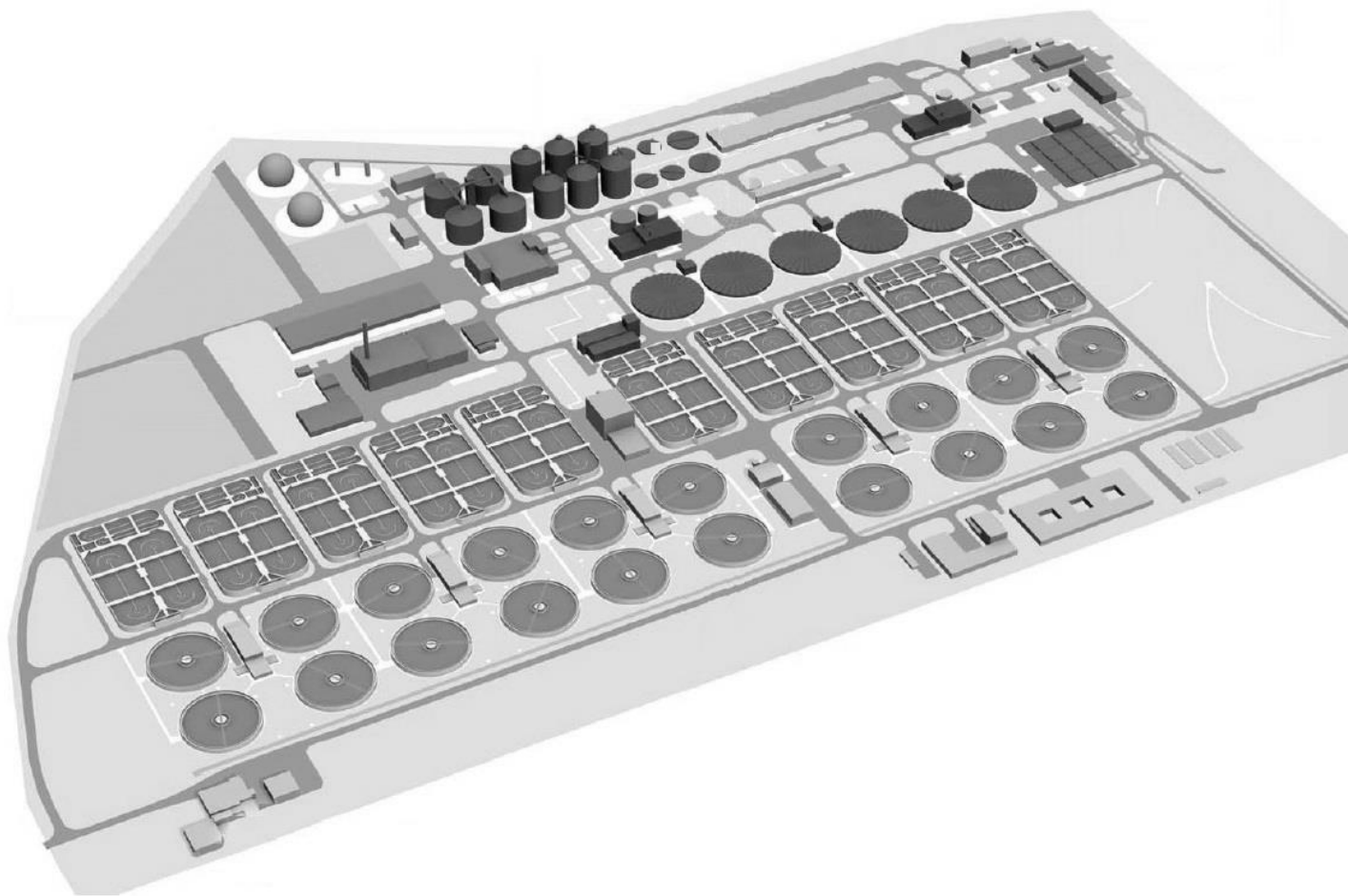
Oczyszczalnia ścieków w ujęciu konwencjonalnym



Oczyszczalnia ścieków jako cyrkularna biorafineria



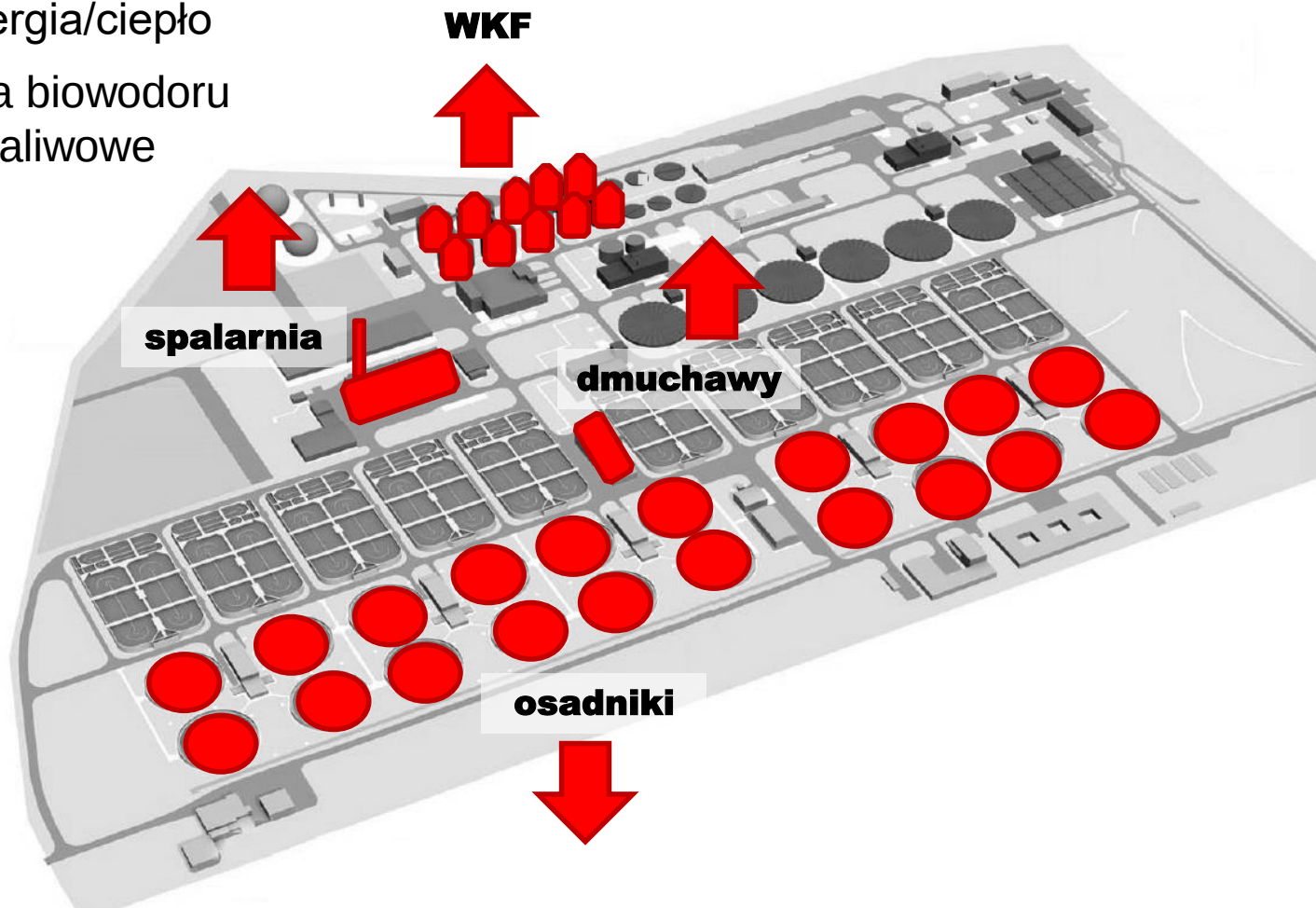
Oczyszczalnia ścieków - wieloplatformowa cyrkularna **BIORAFINERIA**



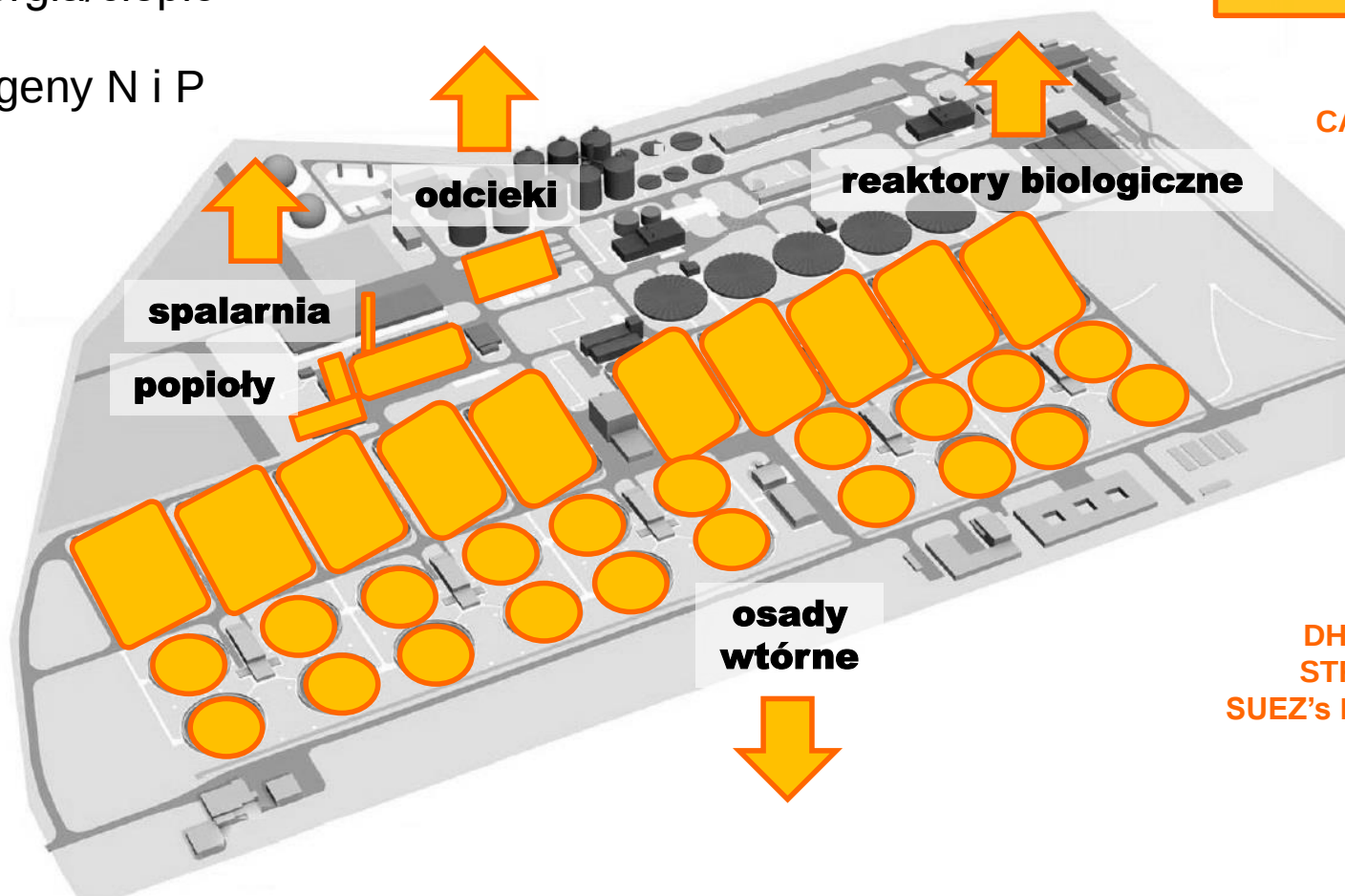
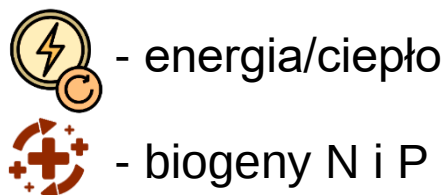
Oczyszczalnia ścieków - wieloplatformowa cyrkularna BIORAFINERIA



- energia/ciepło
produkcja biowodoru
ogniwa paliwowe



Oczyszczalnia ścieków - wieloplatformowa cyrkularna BIORAFINERIA



TECHNOLOGIE:

KREPRO
CAMBI
CAMBI/KREPRO
PHOXNAN
SEABORNE
AQUA RECI
MEPHREC
BIOCON
SEPHOS
KEMICOND
WASSTRIP
RECOPHOS
ASH DEC
Heatphos
NutriTec
AECO-NAR
DHV Crystalactor
STRUVIA VEOLIA
SUEZ's Phosphogreen
AirPrex
Phosnix
P-RoC

.....

Oczyszczalnia ścieków - wieloplatformowa cyrkularna BIORAFINERIA



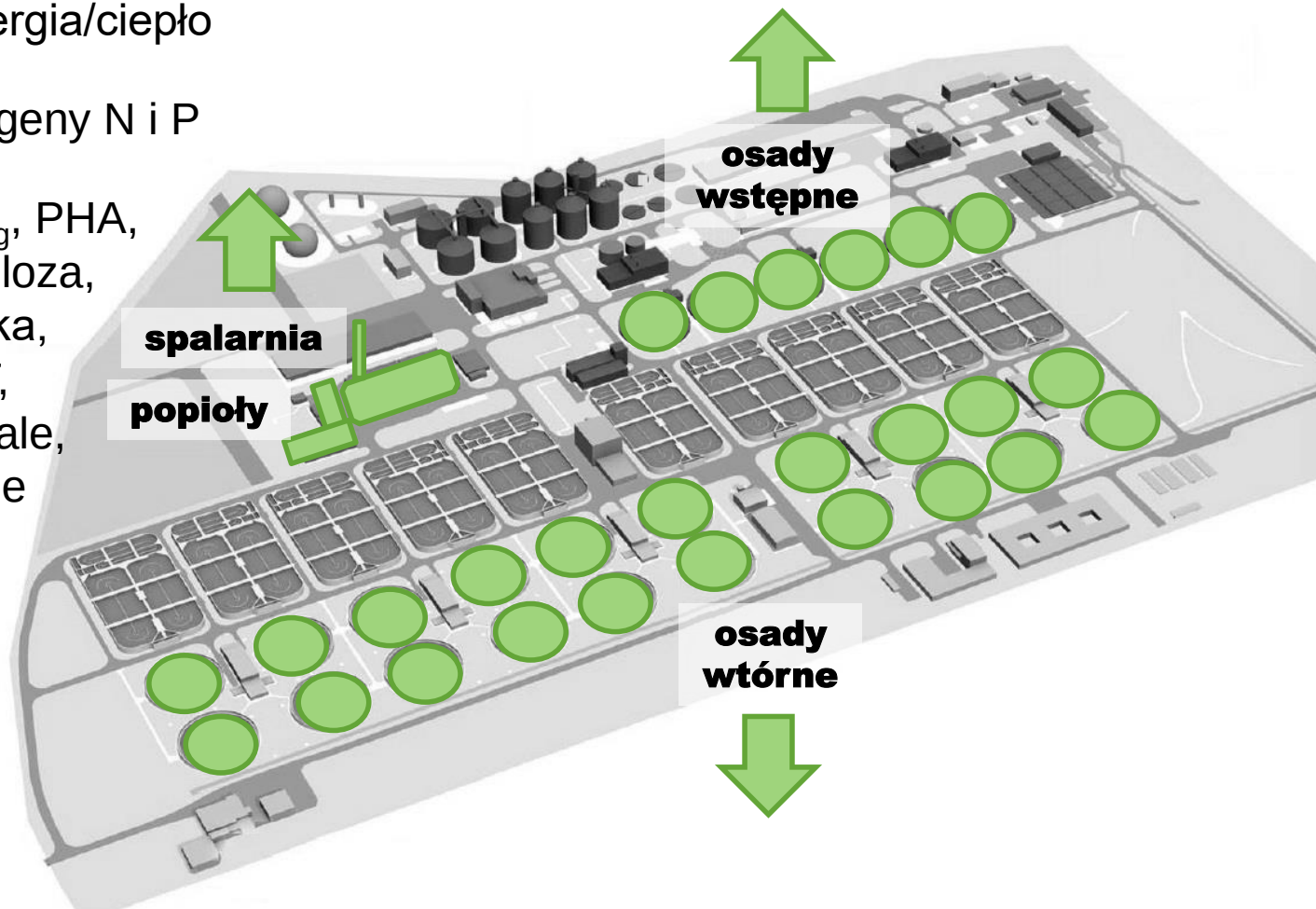
- energia/ciepło



- biogeny N i P



- C_{org}, PHA,
celuloza,
białka,
LKT,
metale,
i inne



Oczyszczalnia ścieków - wieloplatformowa cyrkularna BIORAFINERIA



- energia/ciepło



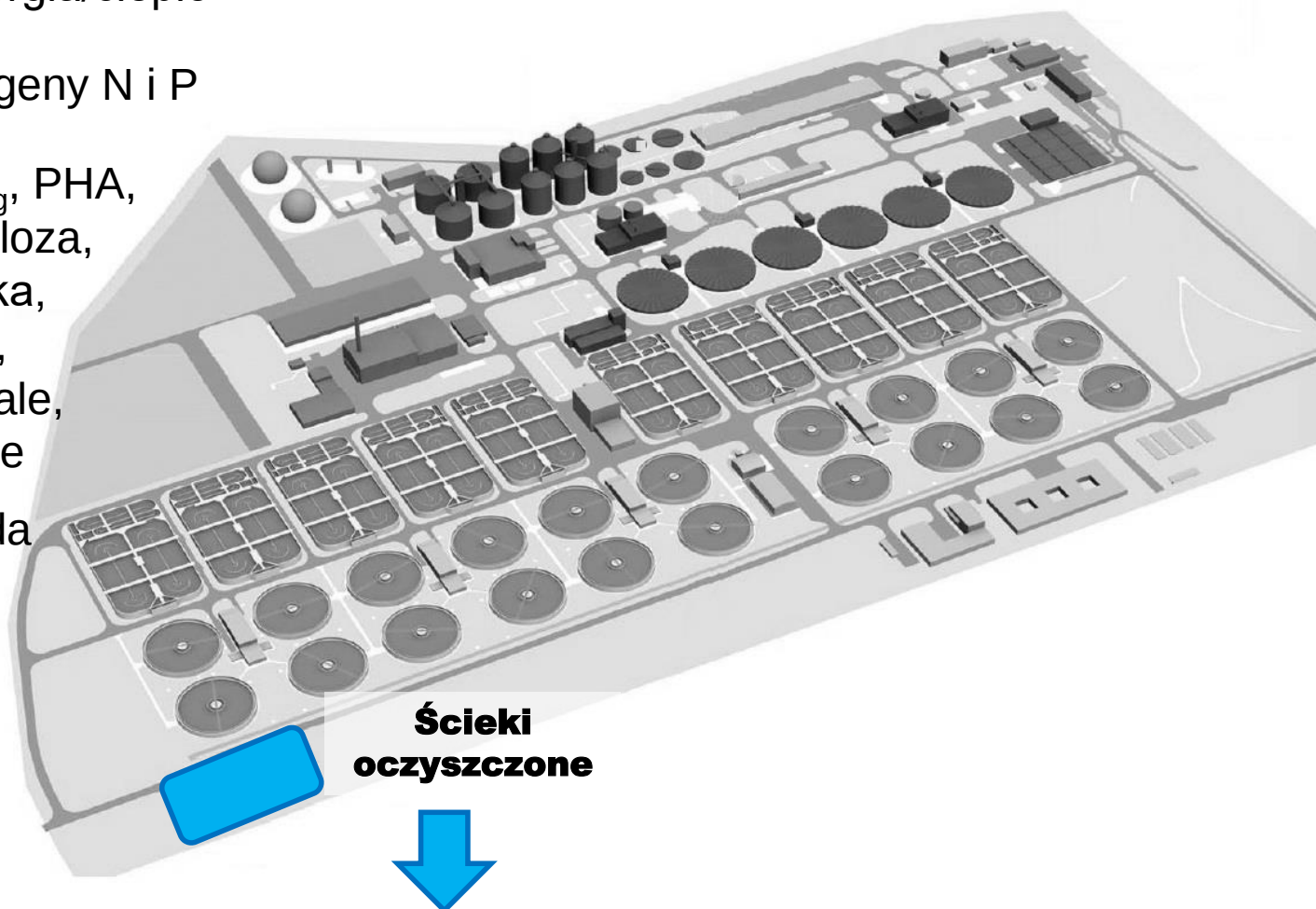
- biogeny N i P



- C_{org}, PHA,
celuloza,
białka,
LKT,
metale,
i inne



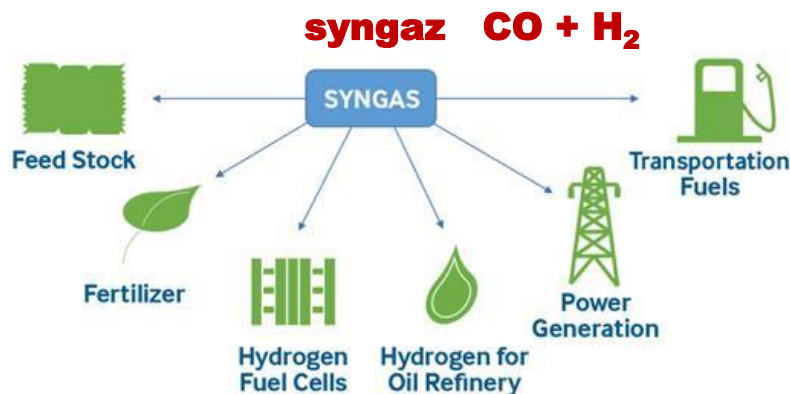
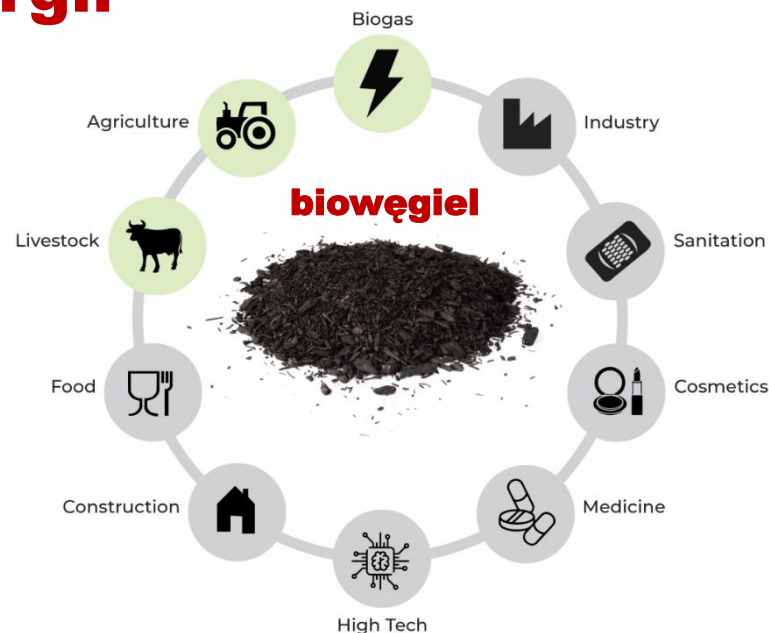
- woda



**Ścieki
oczyszczone**



Odzysk energii



Źródła:

Li Ch., Wang X., Zhang G., Li J., Li Z., Yu G., Wang Y. 2018: A process combining hydrothermal pretreatment, anaerobic digestion and pyrolysis for sewage sludge dewatering and co-production of biogas and biochar: Pilot-scale verification, *Bioresource Technology*, 254, 187-193.

Raheem A., Sikarwar V. S., He J., Dastyar W., Dionysiou D. D., Wang W., Zhao M. 2018: Opportunities and challenges in sustainable treatment and resource reuse of sewage sludge: A review, *Chemical Engineering Journal*, 337, 616-641.

Çelik, Ahmet & Bellitürk, Korkmaz & SAKİN, Erdal. (2020). Chapter 14: Agriculture Friendly Bio-Fertilisers in Waste Management: Vermicompost and Biochar.

<https://www.munters.com/pl/munters/cases/kevin-revamp-of-syngas-scrubber/>

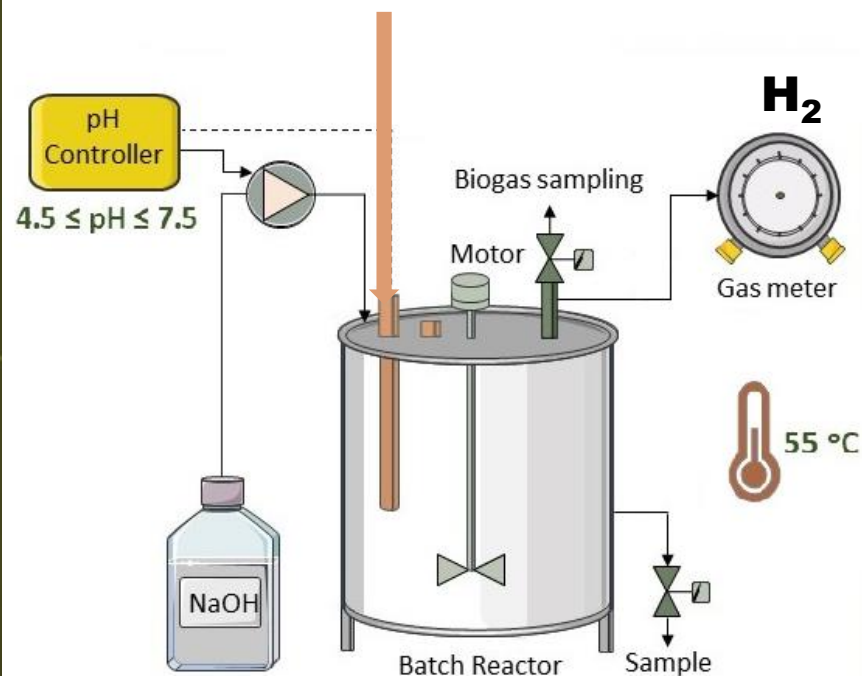


Odzysk energii

Produkcja **biowodoru (H_2)** w procesie ciemnej fermentacji

H_2

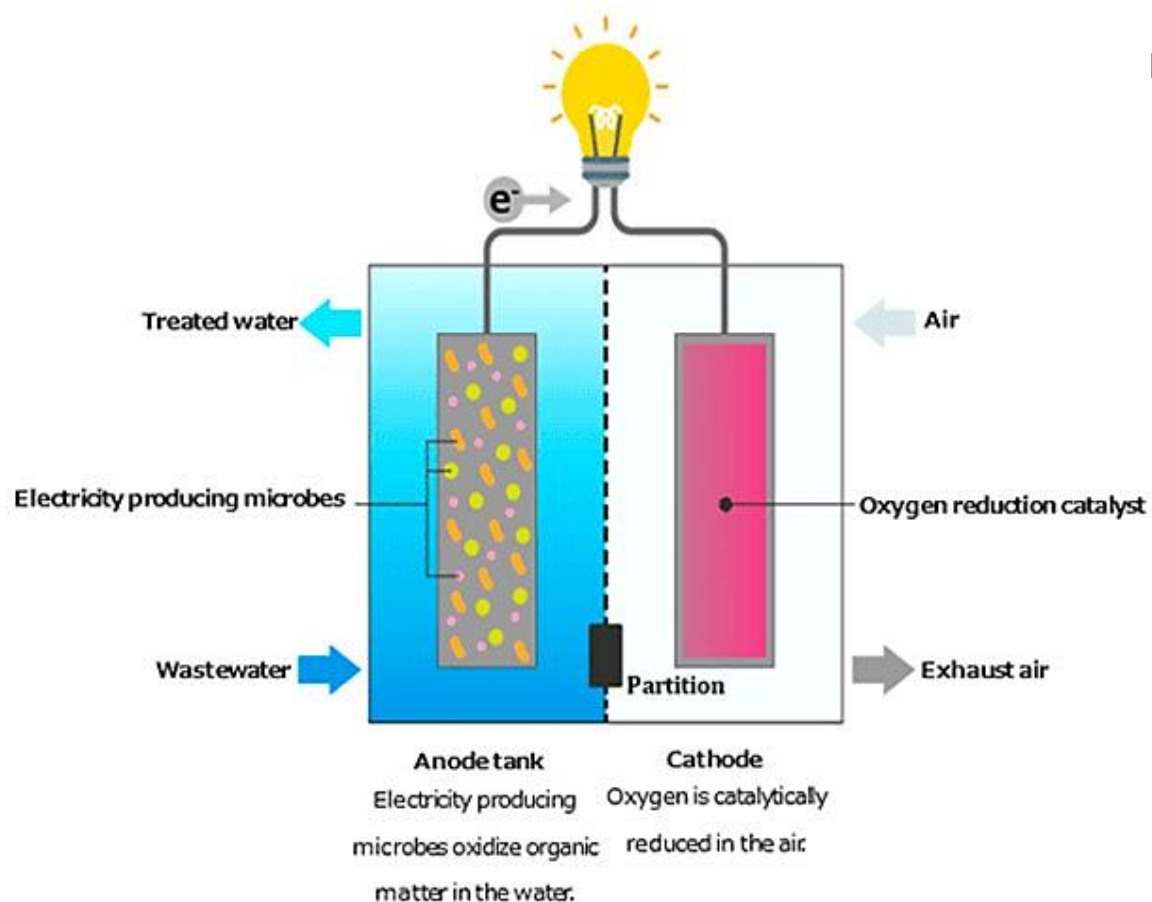
Substraty: osady, odpady rolnicze, odpady leśne, odpady organiczne, ścieki





Odzysk energii

System oczyszczania ścieków z wykorzystaniem **mikrobiologicznych ogniw paliwowych**



Kurita Water Industries Ltd.

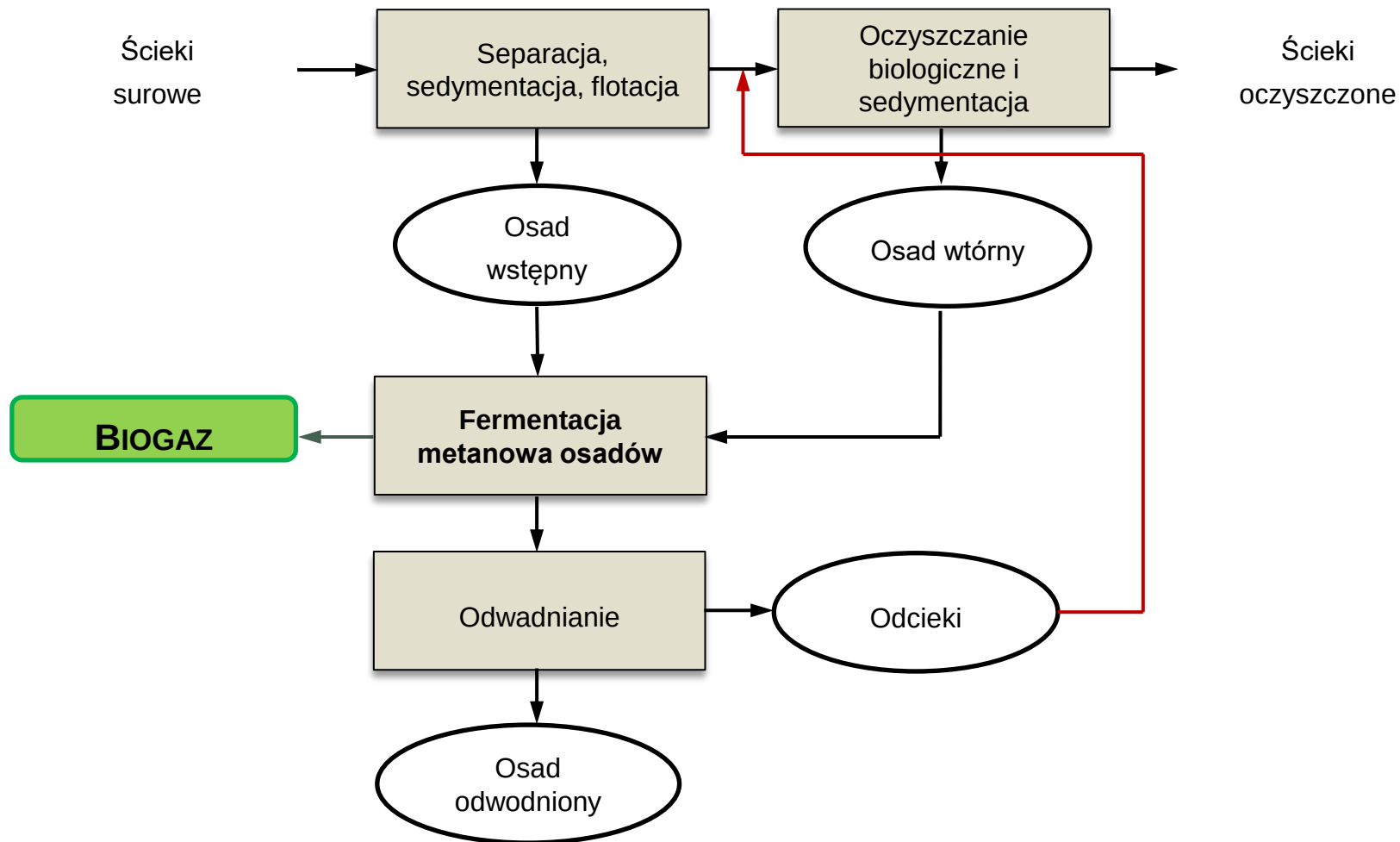


Upsized cell
(Size: 1,000 x 450 mm)



Odzysk energii

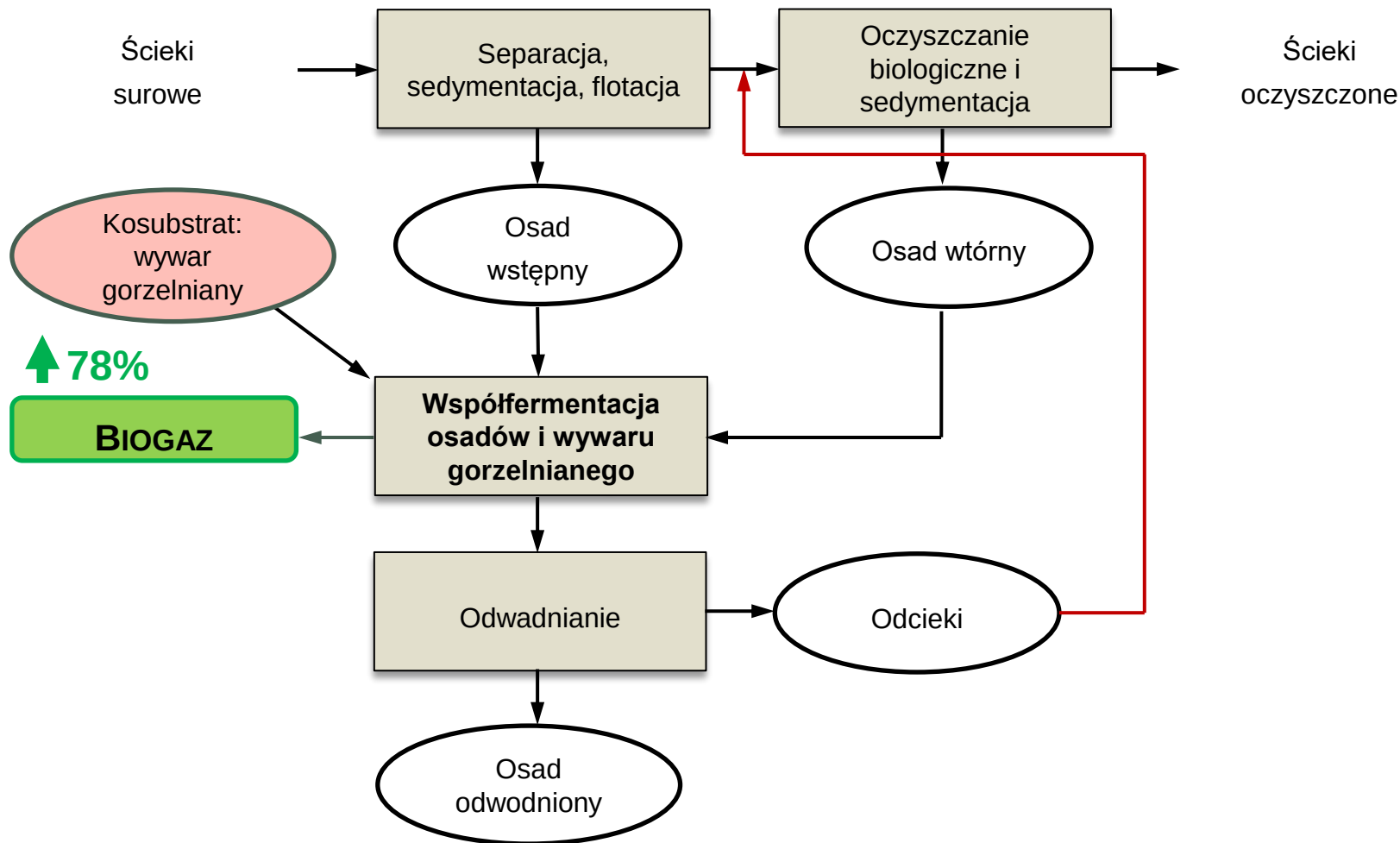
Wpływ **kofermentacji** na jakość odcieków





Odzysk energii

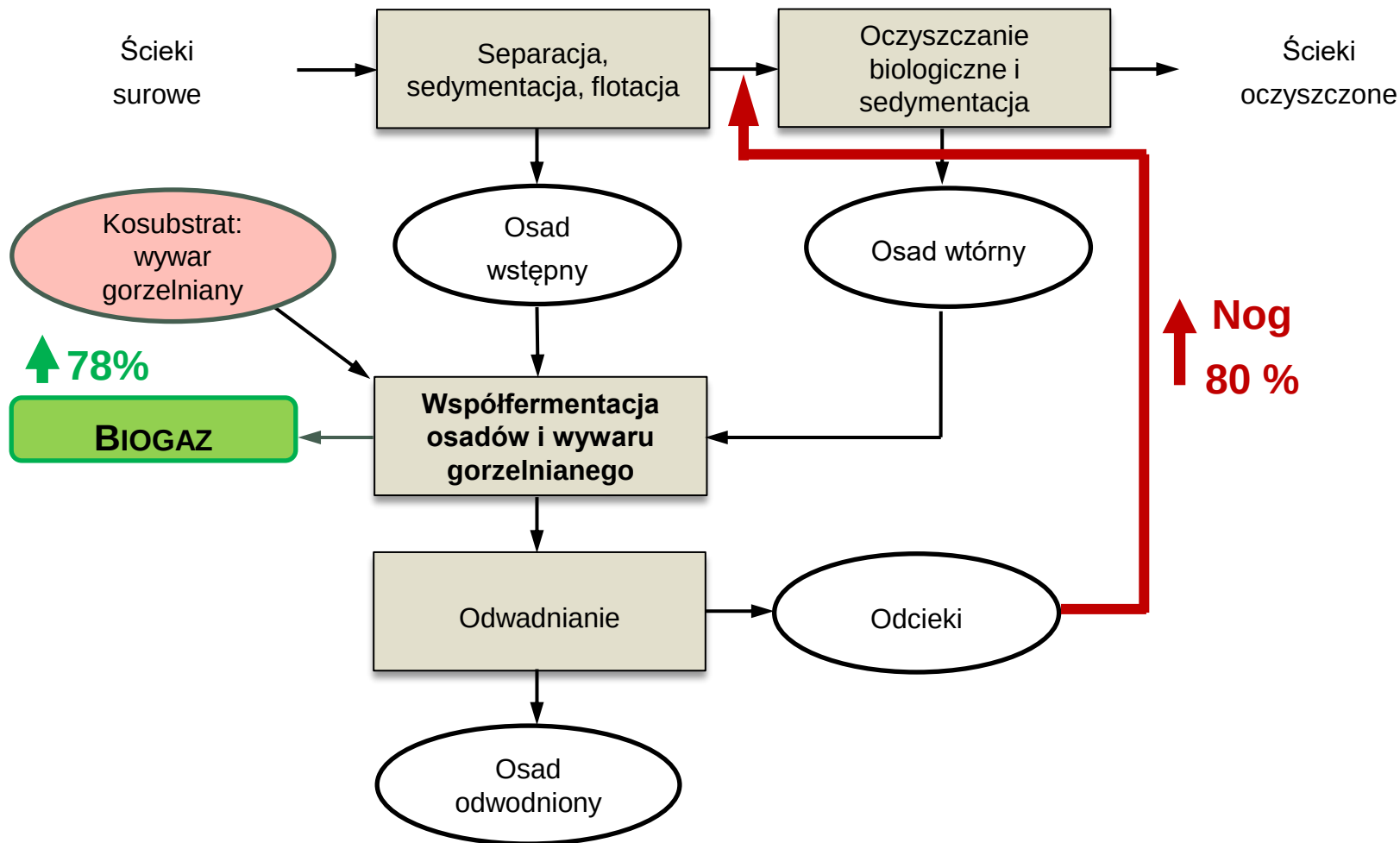
Wpływ **kofermentacji** na jakość odcieków





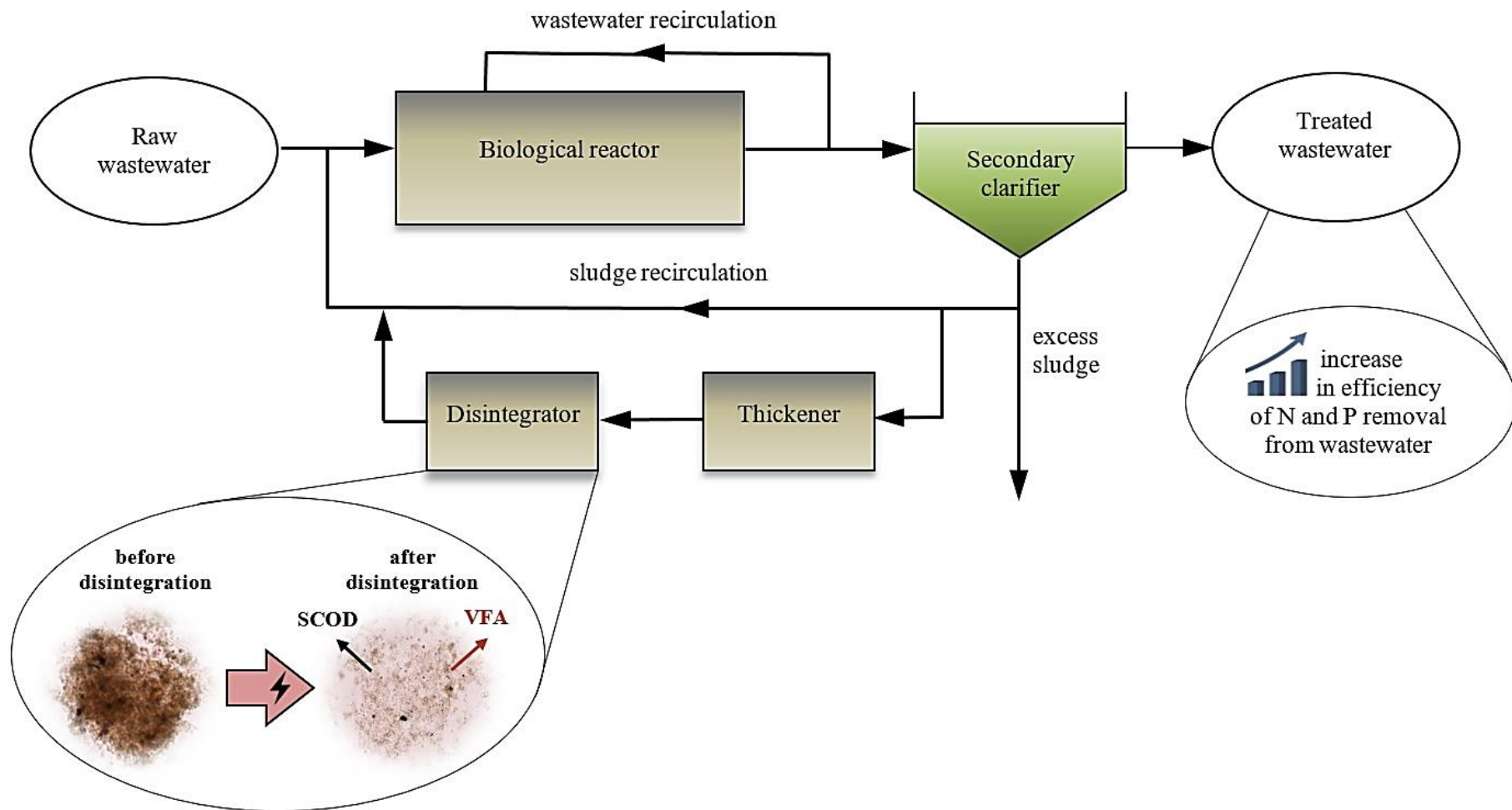
Odzysk energii

Wpływ **kofermentacji** na jakość odcieków



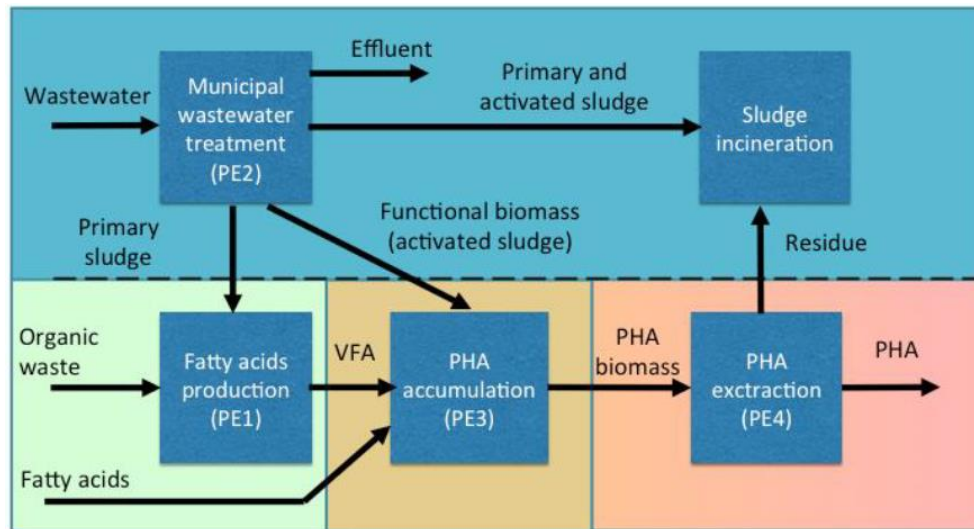


Odzysk węgla organicznego z osadów





Odzysk PHA



Etapy odzysku PHA



Wizytownik (Grupa PEZY). Uchwyt na karty został wyprodukowany z bioplastycznej mieszanki zawierającej 74% PHARIO PHA



opłacalność



$PAP \geq 40 \% \text{ g-PHA} / \text{g s.m.o.}$



możliwość odzyskania PHA wysokiej jakości

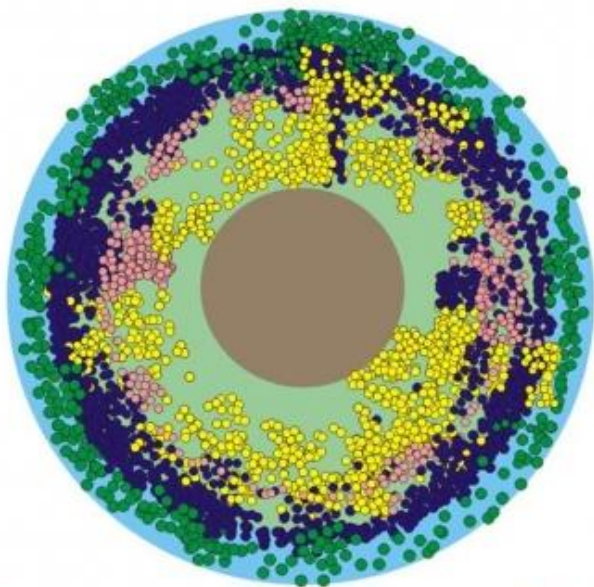


Odzysk alginianów

TLENOWY OSAD
GRANULOWANY



Alginiany w postaci
kwasu alginowego (ALE)



PAO
Denitrifiers
Nitifiers
GAO

Aerobic
Anoxic

ALGINIANY



(z wodorostów)
wykorzystywany
w przemyśle:

- ✓ tekstylnym
- ✓ **spożywczym**
- ✓ budowlanym
- ✓ papierniczym

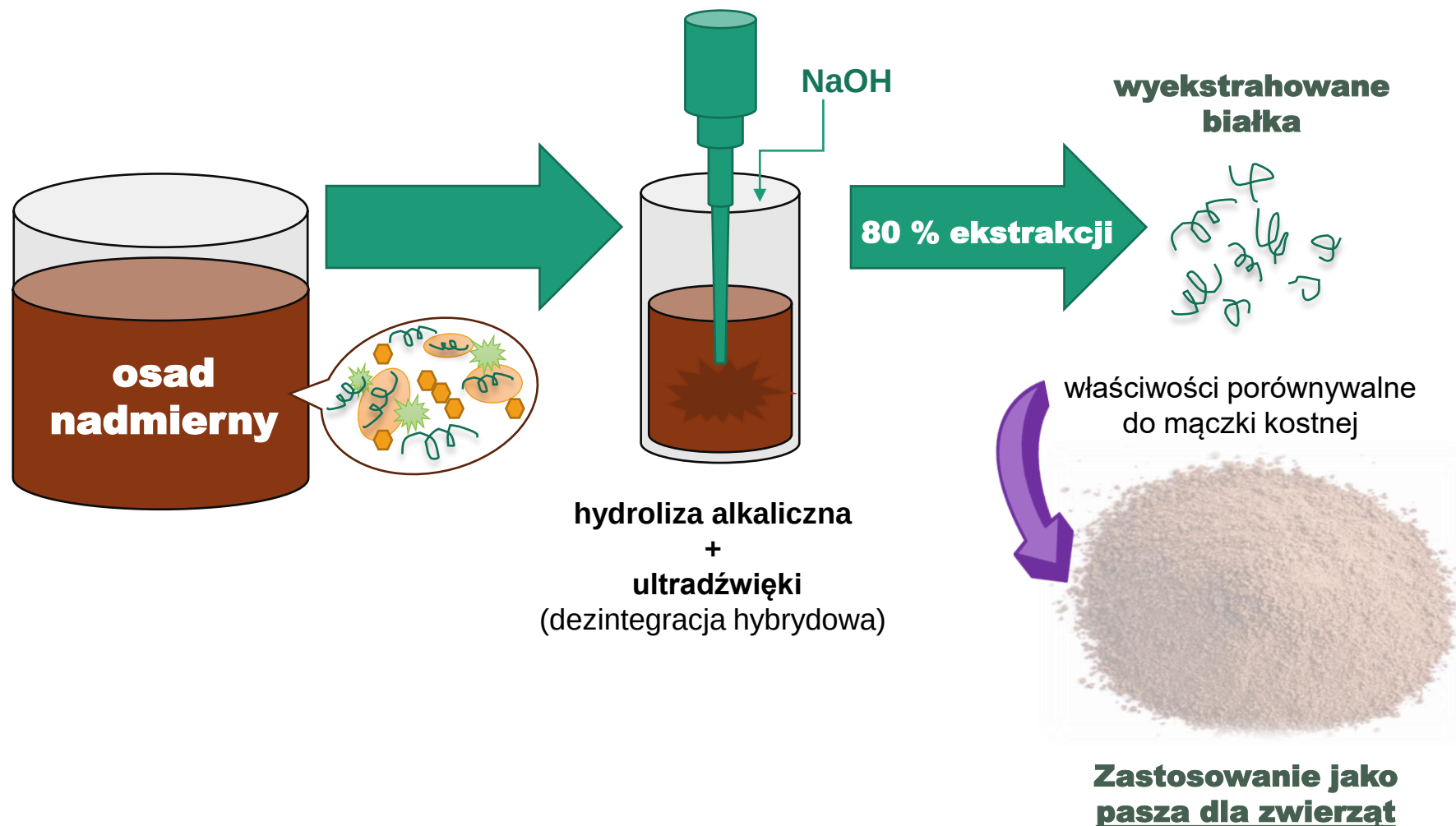


ALE
wykorzystywany
w przemyśle:

- ✓ tekstylnym
- ✓ budowlanym
- ✓ papierniczym



Odzysk białek





Odzysk wody

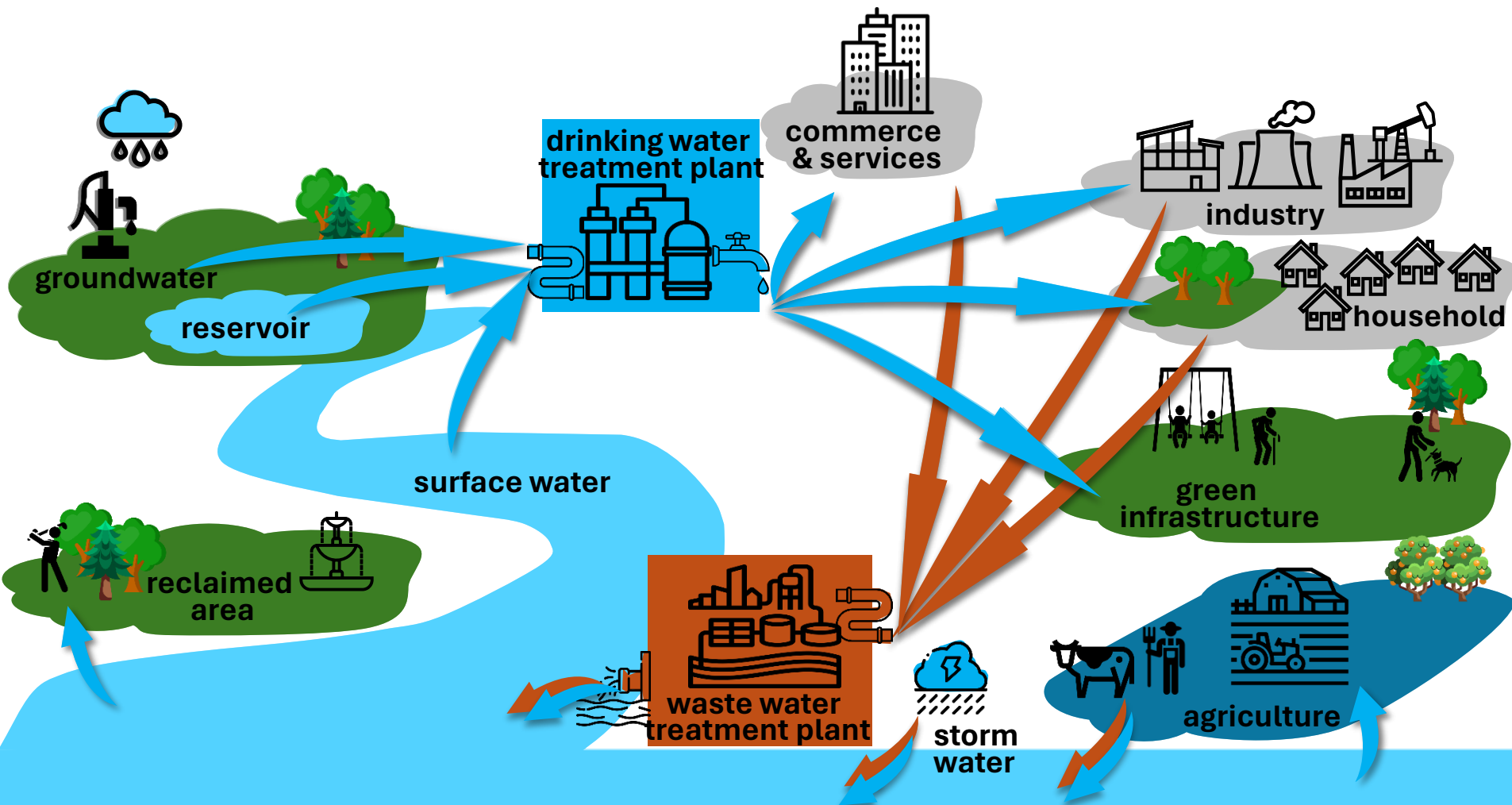
Interreg
Baltic Sea Region



Co-funded by
the European Union

SUSTAINABLE WATERS

ReNutriWater





Odzysk wody

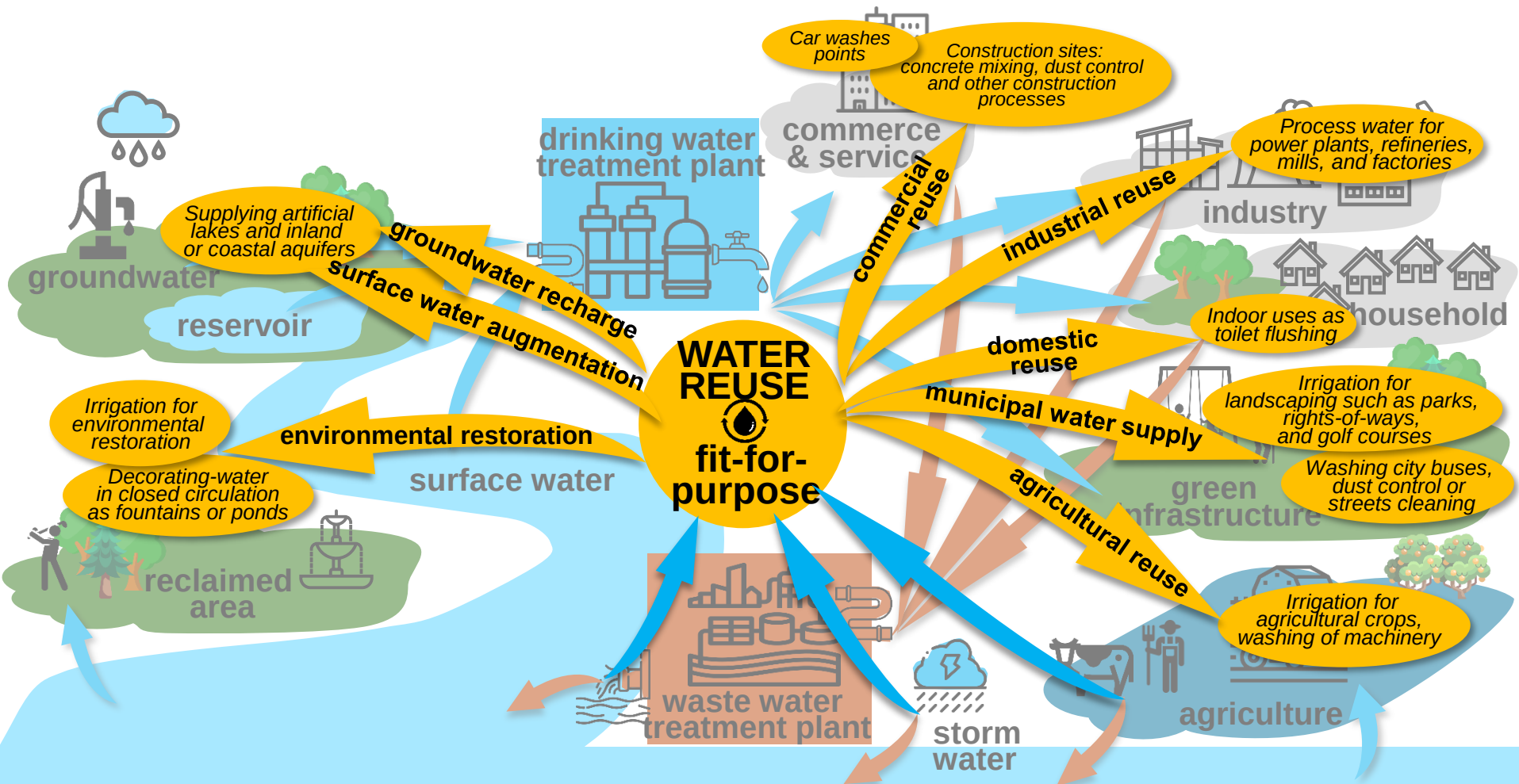
Interreg
Baltic Sea Region



Co-funded by
the European Union

SUSTAINABLE WATERS

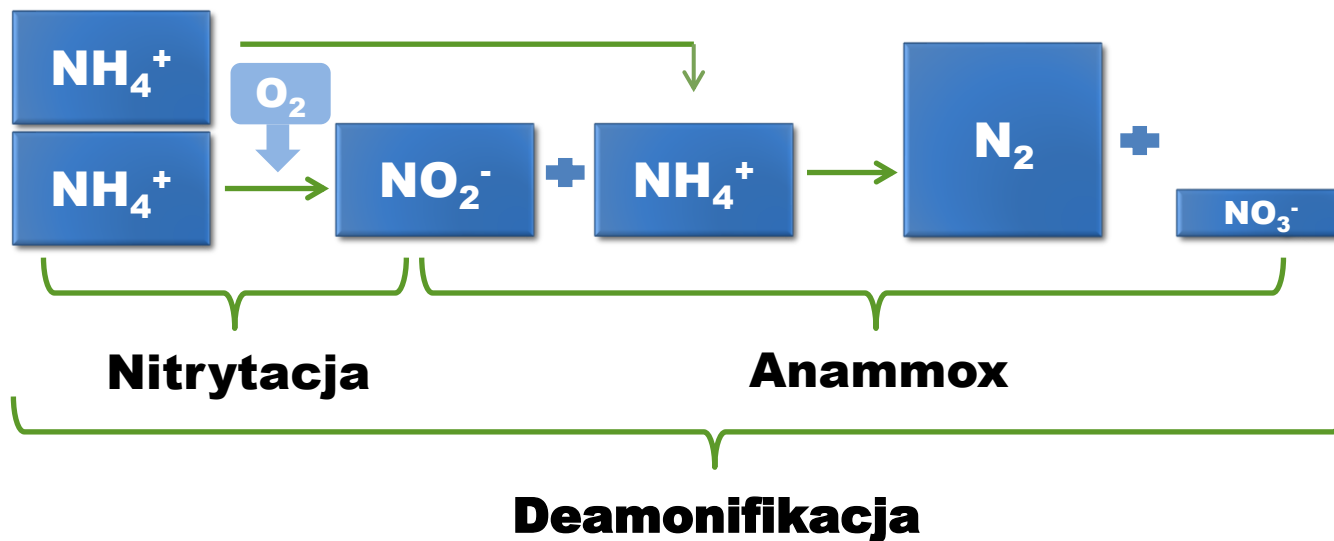
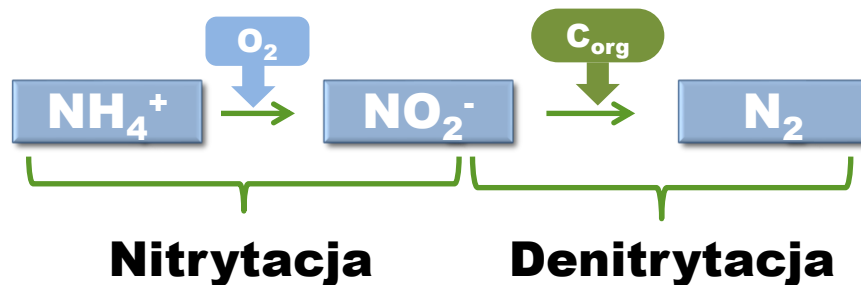
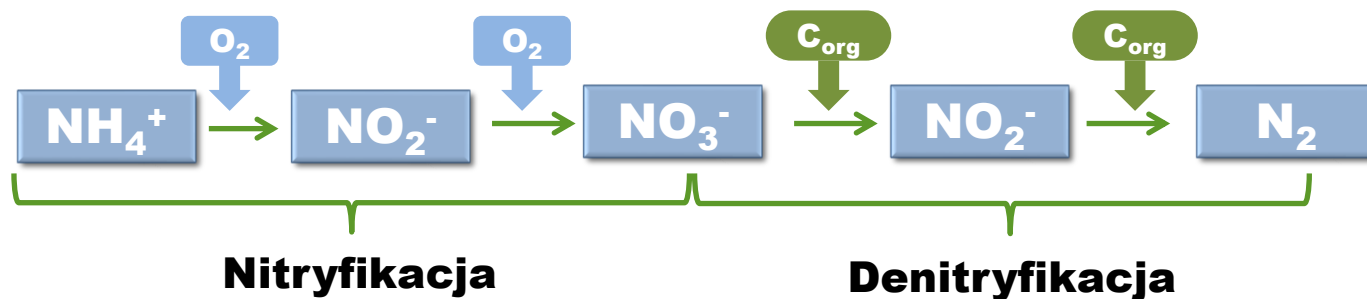
ReNutriWater



INNOWACYJNE TECHNOLOGIE USUWANIA ZWIĄZKÓW BIOGENNYCH ZE ŚCIEKÓW



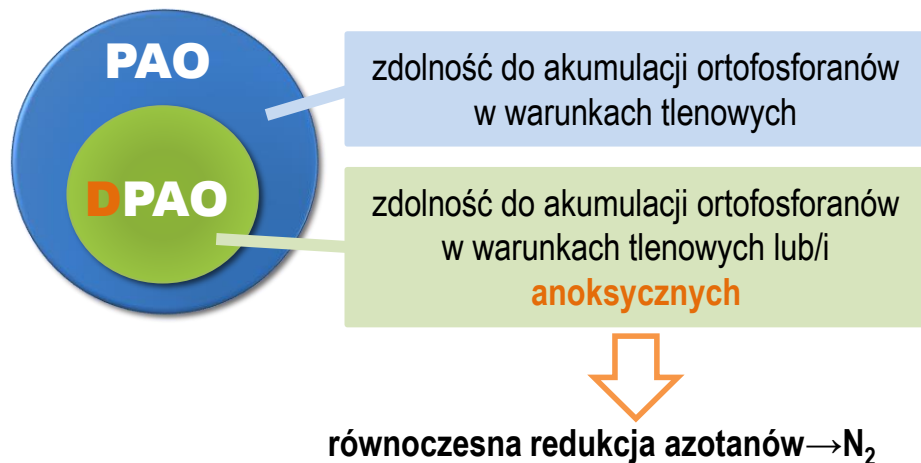
Usuwanie azotu na drodze deamonifikacji



- Zmniejszenie o 2/3 zapotrzebowania na tlen
- Zmniejszenie o 90 % zapotrzebowania na węgiel organiczny

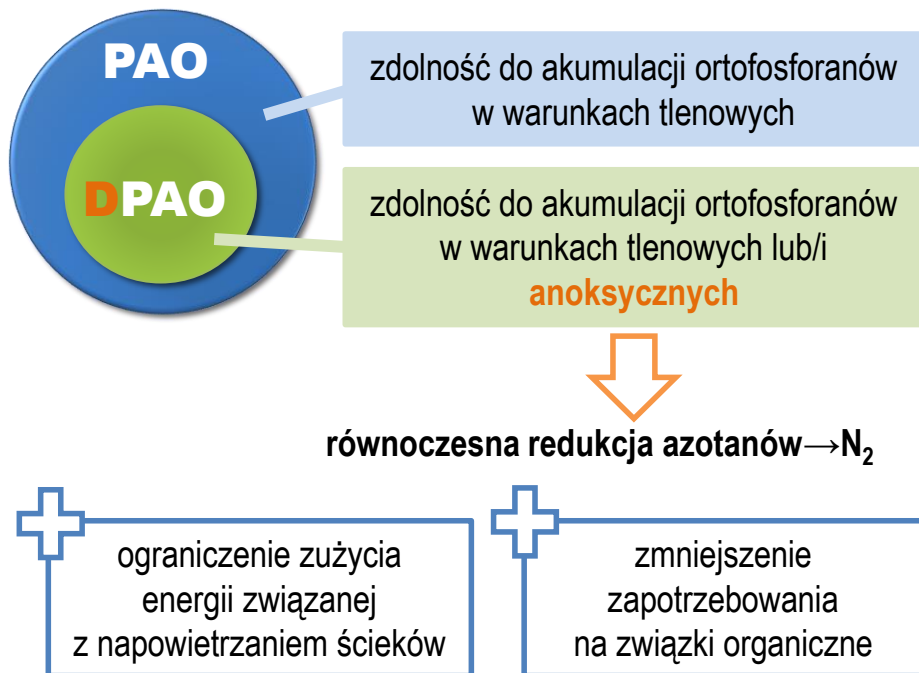
Zintegrowane usuwanie azotu i fosforu

Proces denitryfikacji defosfatacyjnej



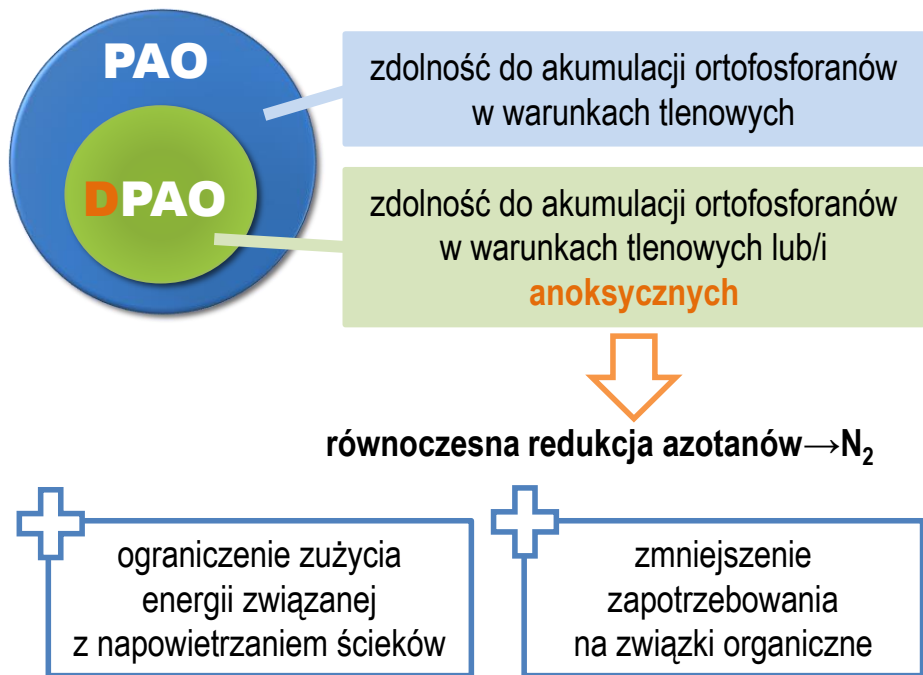
Zintegrowane usuwanie azotu i fosforu

Proces denitryfikacji defosfatacyjnej



Zintegrowane usuwanie azotu i fosforu

Proces denitryfikacji defosfatacyjnej



Przykłady układów technologicznych do prowadzenia procesu denitryfikacji defosfatacyjnej

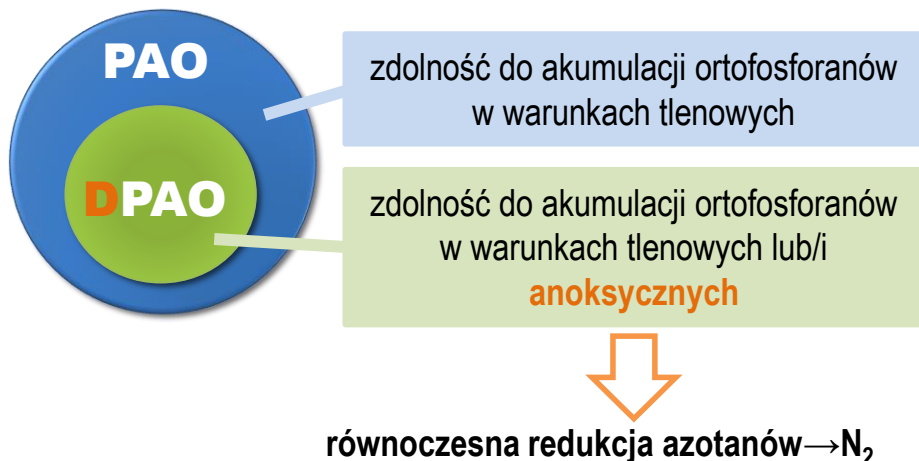
Układy przepływowe z rozdzieloną biomasą - **A₂N DEPHANOX**

Układy przepływowe z nierozdzieloną biomasą - **A₂O UCT**

Układy porcjowe z błoną biologiczną - **SBBR MBSBBR**

Zintegrowane usuwanie azotu i fosforu

Proces denitryfikacji defosfatacyjnej



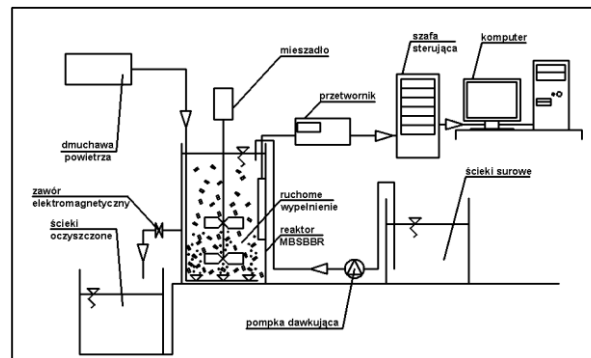
Przykłady układów technologicznych do prowadzenia procesu denitryfikacji defosfatacyjnej

Układy przepływowe z rozdzieloną biomasą - **A₂N DEPHANOX**

Układy przepływowe z nierozdzieloną biomasą - **A₂O UCT**

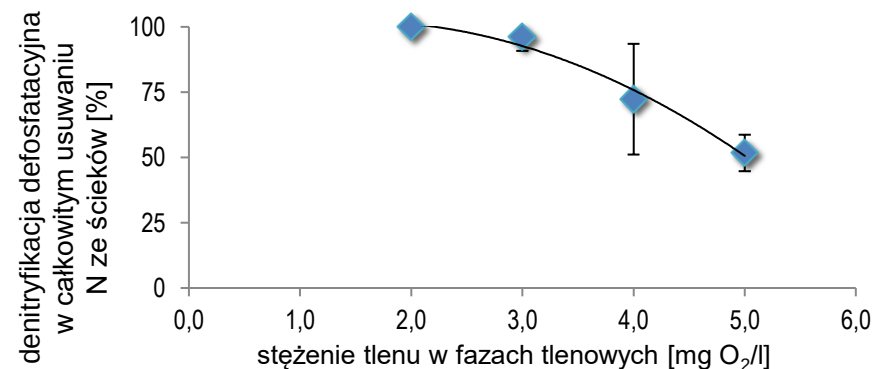
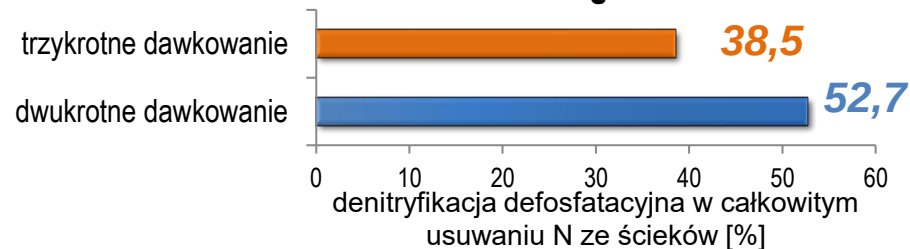
Układy porcjowe z błoną biologiczną - **SBBR MBSBBR**

Analiza możliwości wykorzystania reaktora typu MBSBBR do usuwania biogenów ze ścieków z dominującym udziałem procesu denitryfikacji defosfatacyjnej NCN nr 7373/B/T02/2011/40



IFAS-MBSBBR

Uwarunkowania technologiczne



Minimalizacja emisji podtlenku azotu (N_2O)

Kontrola i regulacja krytycznych warunków operacyjnych kluczem do minimalizacji emisji N_2O z oczyszczalni ścieków

obciążenie
ładunkiem
 NH_4^+

niskie
stężenia
tlenu

dostępność
źródła C

strategia
naprzemiennego
napowietrzania

wiek
osadu

Minimalizacja emisji podtlenku azotu (N_2O)

Kontrola i regulacja krytycznych warunków operacyjnych kluczem do minimalizacji emisji N_2O z oczyszczalni ścieków

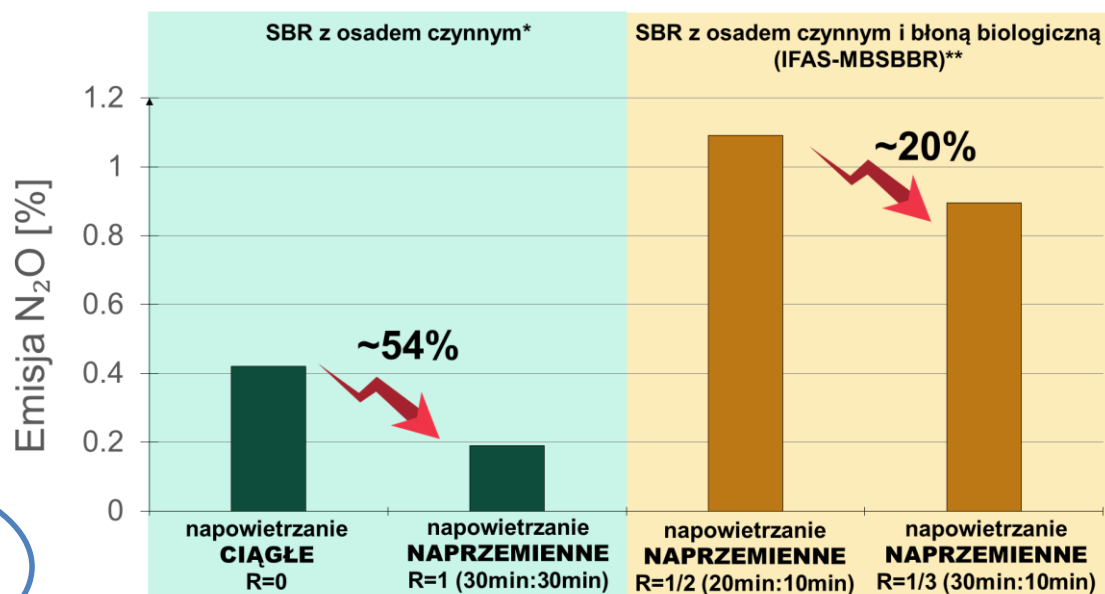
obciążenie ładunkiem NH_4^+

niskie stężenia tlenu

dostępność źródła C

strategia naprzemiennego napowietrzania

wiek osadu



Na podstawie:

* Liu T, Liu S, He S, Tian Z, Zheng M (2021) Minimization of N_2O emission through intermittent aeration in a sequencing batch reactor (SBR): main behavior and mechanism. *Water* 13 (2), 210.

** Zajac, O., Zubrowska-Sudol, M. (2023). *Nitrification kinetics, N_2O emission, and energy use in intermittently aerated hybrid reactor under different organic loading rates*. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20 (9), 10061–10074

Efektywne utrzymanie biomasy



**OSAD
GRANULOWANY**

**Oczyszczalnia
ścieków „Fregata”
w Rykach**



**SYSTEMY
HYBRYDOWE**

**Oczyszczalnia
ścieków w Pajęcznie,
Pacanowie, ANWIL
SA we Włocławku
i inne**



**REAKTORY
MEMBRANOWE**

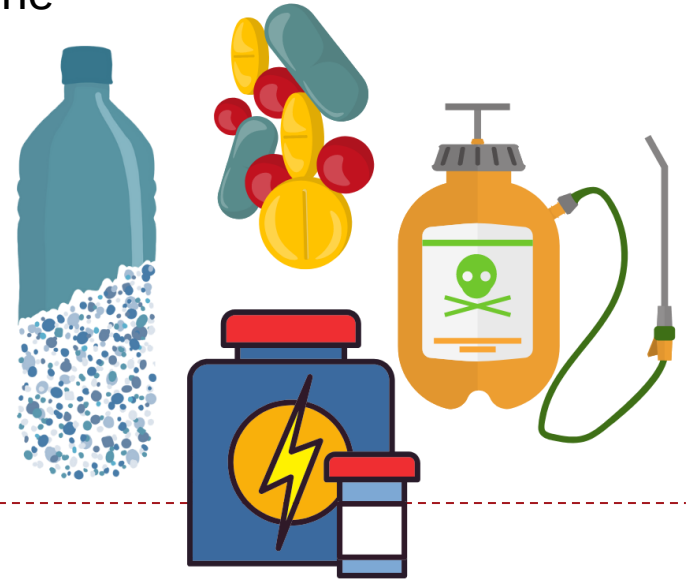
**Oczyszczalnie
Ścieków w Rowach,
Głogowie
Małopolskim i inne**

MIKROZANIECZYSZCZENIA W GOSPODARCE WODNO-ŚCIEKOWEJ



Substancje rosnącego ryzyka

- farmaceutyki, w tym substancje endokrynnie czynne
- środki narkotyczne
- środki higieny osobistej
- pestycydy
- substancje per- i polifluoroalkilowe (PFAS)
- mikroplastik
-



rozwiązania wykorzystujące procesy pogłębionego utleniania

promieniowanie UV, w tym z wykorzystaniem krótkich fal (ang. vacuum UV)

metody hybrydowe łączące różne procesy jednostkowe np. fotokatalityczne ozonowanie

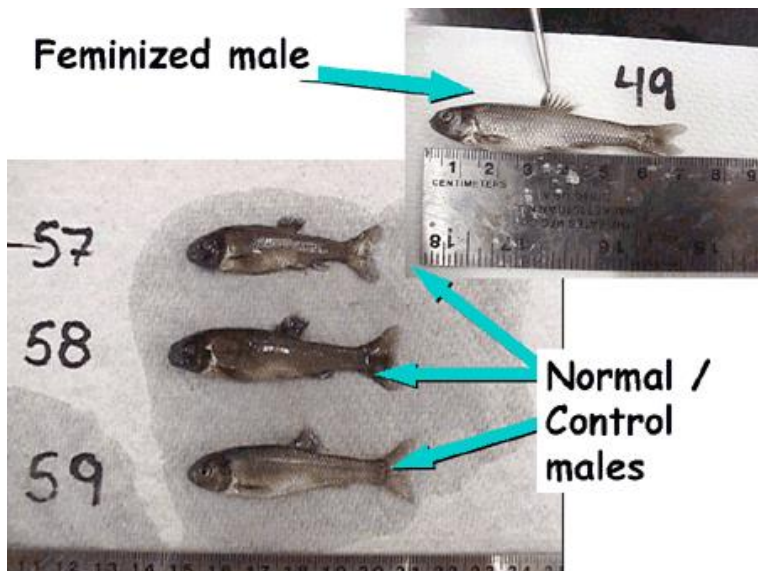
Zanieczyszczenia
z grupy **CEC**
(eng. contaminants of
emerging concern)

żeńskie hormony
antykonieczne

**feminizacja męskiej
populacji ryb**



Keteles (2014): Synthetic female hormones in sewage are toxic to male fish over generations, The EPA Blog



Kelly (2011): Pharmaceuticals in Water, Prairie Research Institute, University of Illinois



Gilbert (2011): Drug waste harms fish, Nature 476, 265

Mikroplastik | Występowanie



Transport z OŚ
do środowiska wodnego:
od 93 mln do 8,2 mld MP na rok

Występowanie MP
w środowisku słodkowodnym:
do kilku mln na m^3

Mikroplastik | Eliminacja

Procesy membranowe → kosztowe i mało efektywne rozwiązanie 

Technologie pozwalające na efektywną eliminację:

procesy
membranowe



procesy
wspomagające
(np. filtry tkaninowe)



Badania własne:

FILTRACJA WGLĘBNA

filtry wglębne z polipropylenu wykonane techniką rozdmuchu stopionego polimeru

granulki PS
(0-40 μm)



sprawność objętościowa
(po 30 min filtracji):
>97%



INNOWACYJNE WDRAŻANIE OPRACOWANYCH ROZWIĄZAŃ



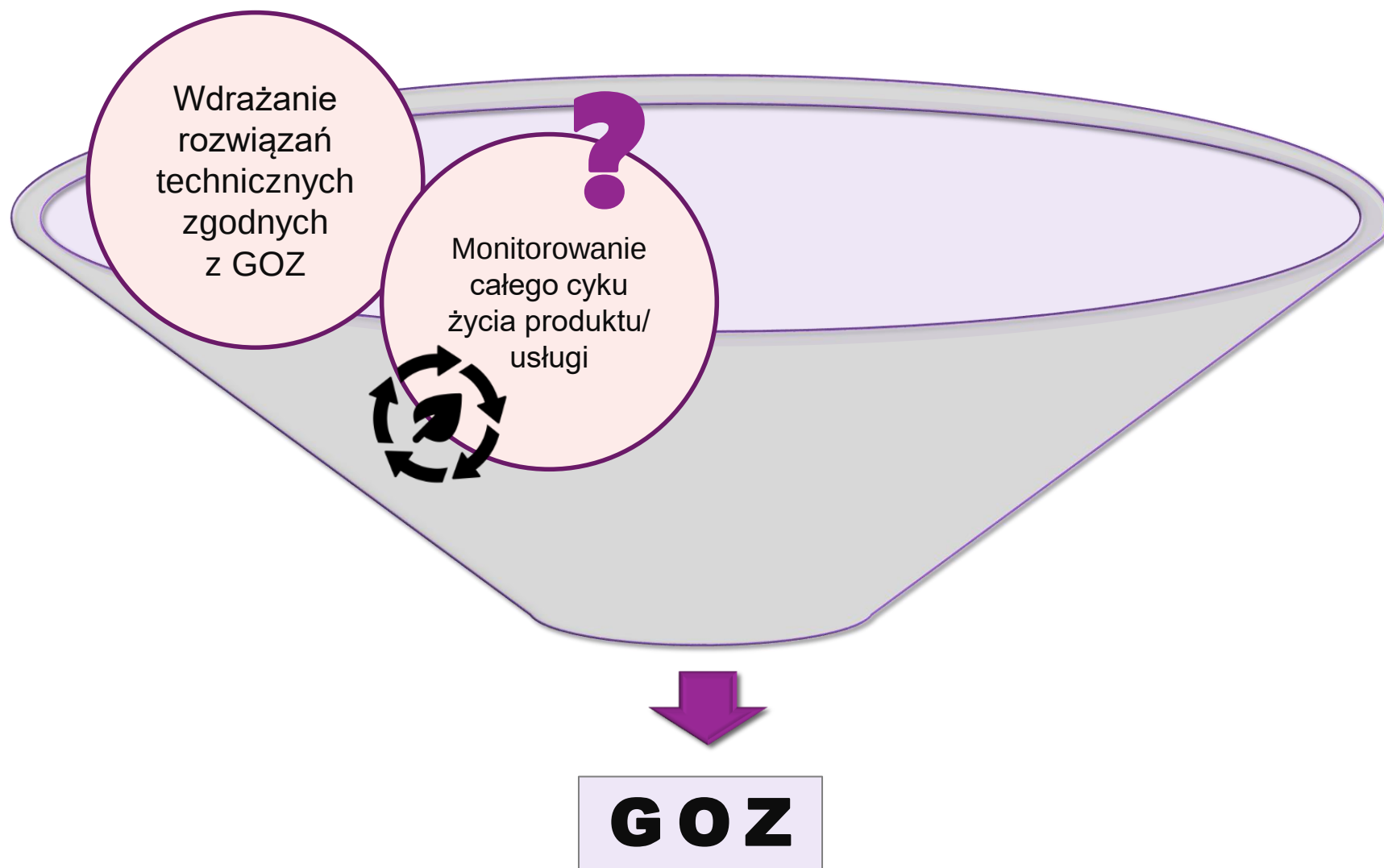
Innowacyjne wdrażanie opracowanych rozwiązań

Wdrażanie
rozwiązań
technicznych
zgodnych
z GOZ

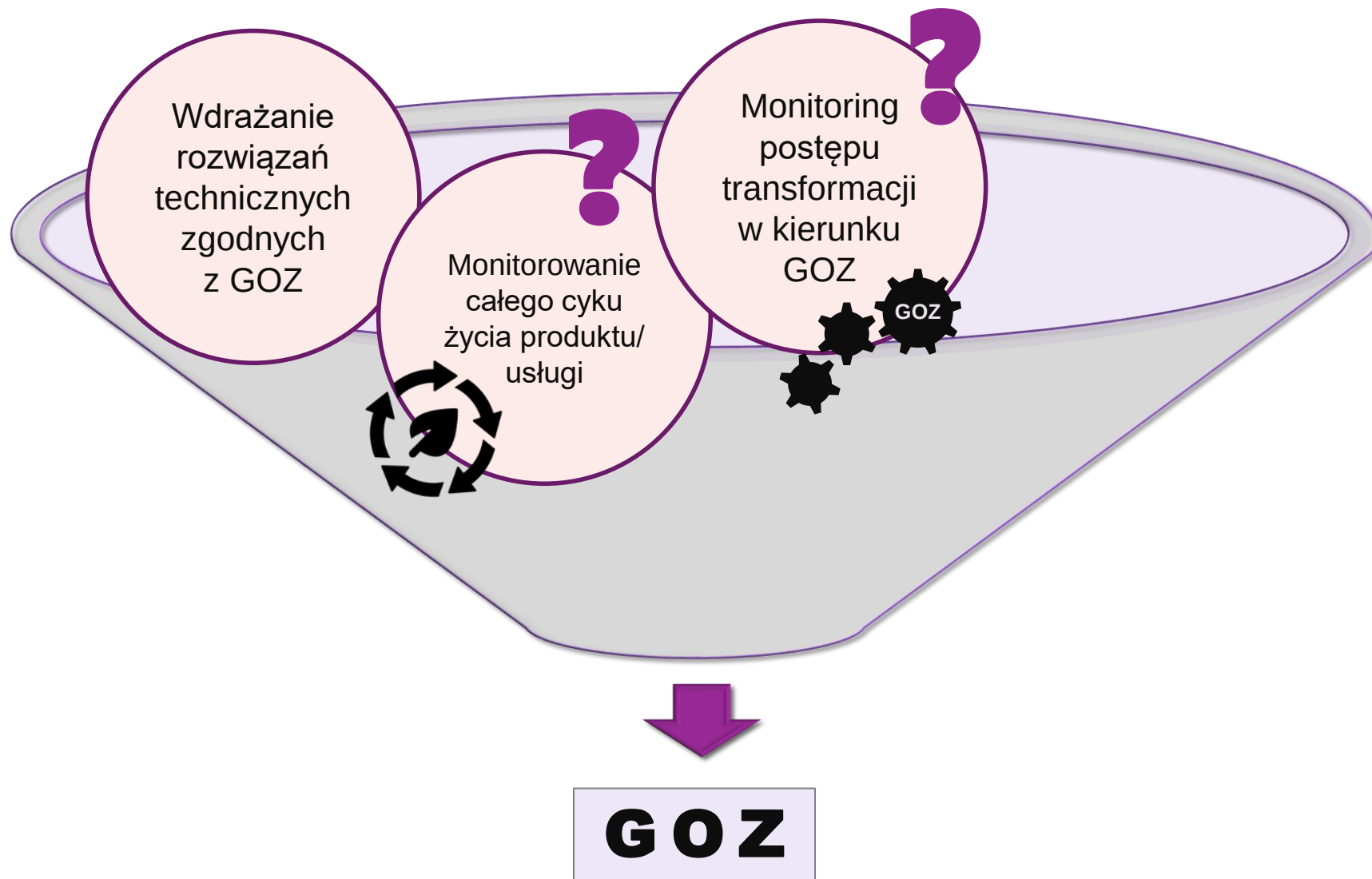


GOZ

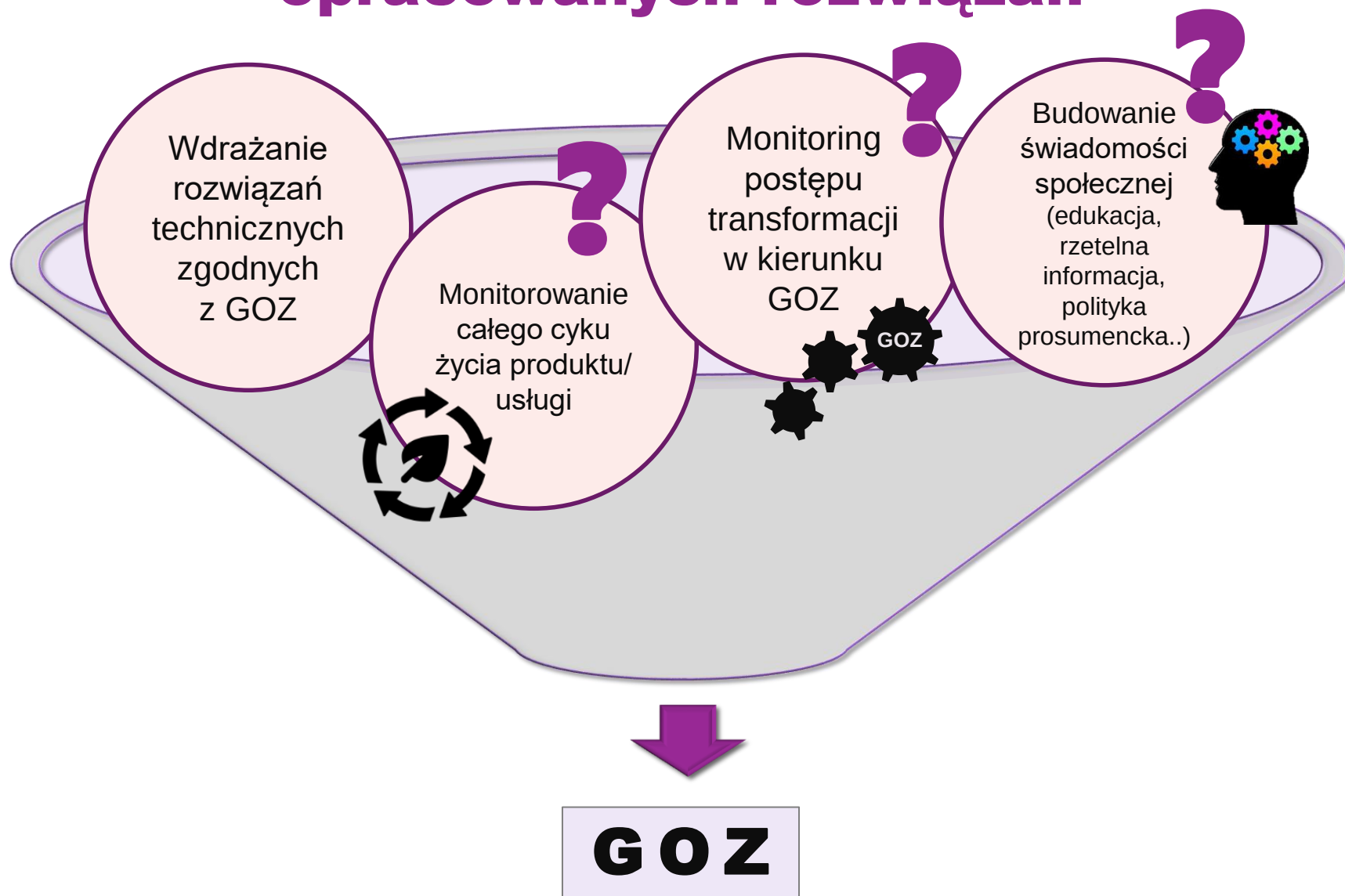
Innowacyjne wdrażanie opracowanych rozwiązań



Innowacyjne wdrażanie opracowanych rozwiązań



Innowacyjne wdrażanie opracowanych rozwiązań



Monitorowanie całego cyklu życia

LCA i analiza ryzyka do oceny innowacyjnych rozwiązań
w gospodarce wodno-ściekowej



... czyli jak nie wylać dziecka z kąpielą

Monitorowanie całego cyklu życia

Zastosowanie LCA i analizy ryzyka
do innowacyjnych rozwiązań na etapie ich:



opracowywania



doskonalenia / modernizacji



eksploatacji



OCENA CAŁEGO SYSTEMU



SZEROKIE GRANICE ANALIZY

ROZUMIENIE ZALEŻNOŚCI TECHNOLOGICZNYCH

wpływu na jakość substratów, odpadów, odcieków, emisje
bezpośrednie etc...

Monitorowanie całego cyklu życia

Środowiskowa ocena cyklu życia (LCA)
gospodarki wodno-ściekowej



LCA (Life Cycle Assessment) jest techniką oceny wpływu na środowisko produktu lub usługi w całym cyklu życia.

wybór **zrównoważonych** rozwiązań i technologii



nie zmniejszają ↓ negatywnych wpływów
w wybranych kategoriach

kosztem wzrostu ↑ w innych kategoriach
albo
w powiązanych podsystemach

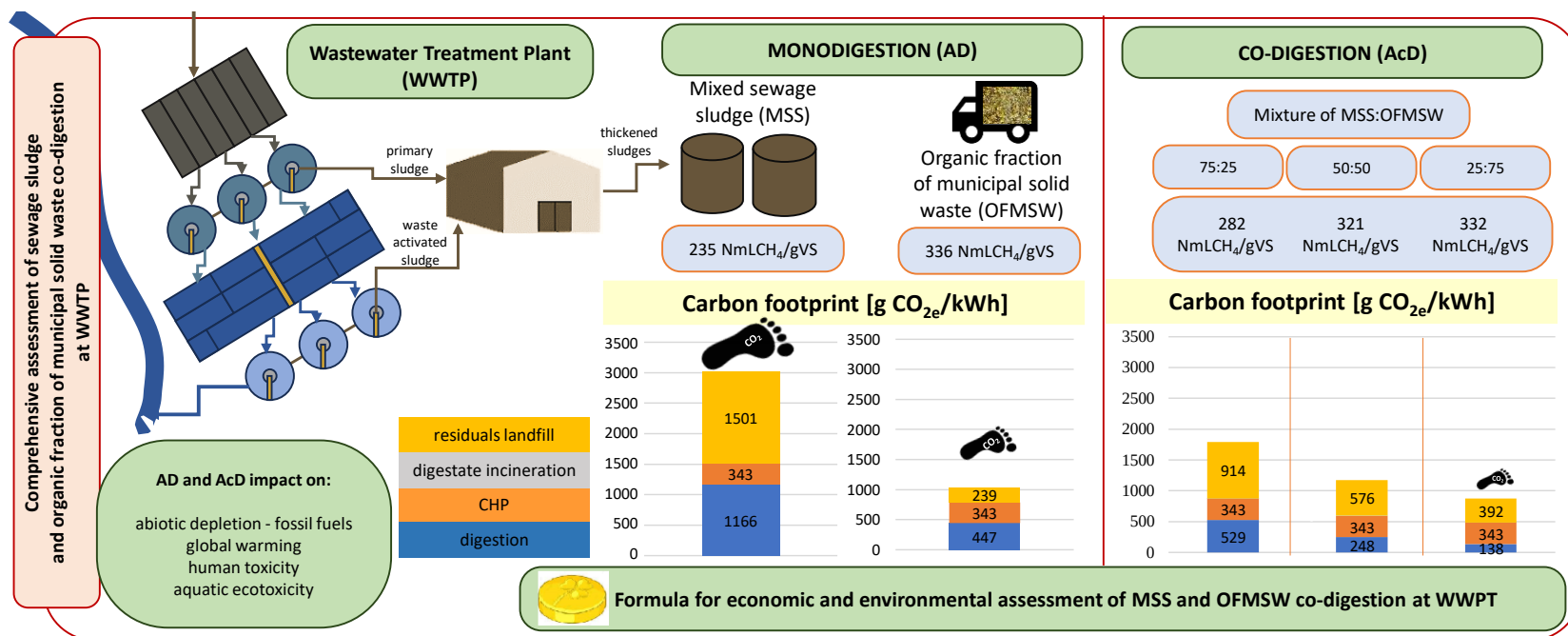
Monitorowanie całego cyklu życia

Zastosowanie do oceny innowacji w sektorach

komunalnym



przemysłowym



- określenie śladu węglowego produkcji energii elektrycznej z różnych substratów
- LCA różnych wariantów modernizacji technologii i systemów gospodarki wodno-ściekowej

Źródła:

Karolinczak B., Walczak J., Bogacka M., Żubrowska-Sudoł M. 2024: Life Cycle Assessment of sewage sludge mono-digestion and co-digestion with the organic fraction of municipal solid waste at a wastewater treatment plant, *Science of the Total Environment*, vol. 907, 167801,

Karolinczak B., Dąbrowski W., Żyłka R. 2021: Evaluation of Dairy Wastewater Treatment Systems Using Carbon Footprint Analysis. *Energies* 14(17):5366

Monitoring postępu transformacji w kierunku GOZ

Wskaźniki dla branż



Branża wydobywcza



Branża energetyczna



Branża budowlana



**Branża rolno-
spożywcza**



Branża chemiczna



**Branża wodociągowo-
kanalizacyjna**

Budowanie świadomości społecznej



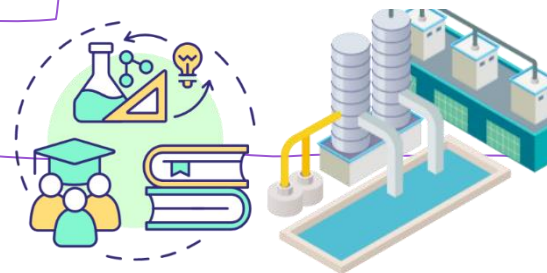
Edukacja dostosowana do docelowej grupy odbiorców



Budowanie świadomości społecznej od najmłodszych lat



Edukacja oparta na rzetelnych wynikach badań naukowych a nie na domniemaniach



Współpraca uczelni wyższych z przedsiębiorstwami wodociągowo-kanalizacyjnymi

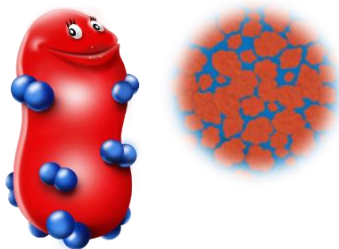
ROLA BADAŃ PODSTAWOWYCH W KREOWANIU INNOWACYJNYCH TECHNOLOGII I ROZWIĄZAŃ



Od badań podstawowych do wdrożenia

Lata 90 XX wieku

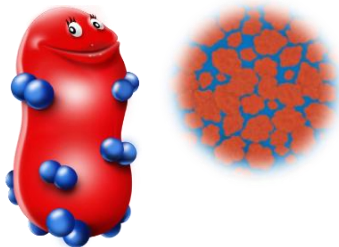
- Odkrycie bakterii Anammox
- Intensywne badania podstawowe
- Prace badawczo-rozwojowe



Od badań podstawowych do wdrożenia

Lata 90 XX wieku

- Odkrycie bakterii Anammox
- Intensywne badania podstawowe
- Prace badawczo-rozwojowe



2002

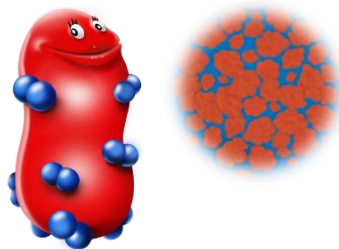
Pierwsze wdrożenie:
oczyszczalnia
ścieków w
Rotterdamie



Od badań podstawowych do wdrożenia

Lata 90 XX wieku

- Odkrycie bakterii Anammox
- Intensywne badania podstawowe
- Prace badawczo-rozwojowe



2002

Pierwsze wdrożenie:
oczyszczalnia
ścieków w
Rotterdamie



2015

114 oczyszczalni ¹⁾

Dostępne technologie:

Dwustopniowy OLAND
SHARON-Anammox
Anita™MOX
CANON
DEMON
OLAND
SNAP
TERRAMOX

A

SNAD

B

DEAMOX
DENAMMOX

C

A Nitrytacja, Anammox

B Nitrytacja, Anammox, Denitryfikacja

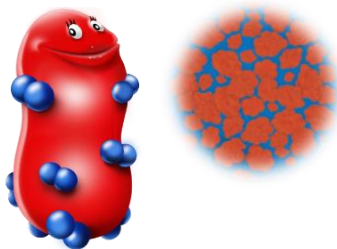
C Denitryfikacja-Anammox

¹⁾ Ali M, Okabe S. (2015): Anammox-based technologies for nitrogen removal: Advances in process start-up and remaining issues, Chemosphere 141, 144-153

Od badań podstawowych do wdrożenia

Lata 90 XX wieku

- Odkrycie bakterii Anammox
- Intensywne badania podstawowe
- Prace badawczo-rozwojowe



2002

Pierwsze wdrożenie:
oczyszczalnia
ścieków w
Rotterdamie



2015

114 oczyszczalni ¹⁾

Dostępne technologie:

Dwustopniowy OLAND
SHARON-Anammox
Anita™MOX
CANON
DEMON
OLAND
SNAP
TERRAMOX

A

SNAD

B

DEAMOX
DENAMMOX

C

Rozwój znanych
technologii
Poszukiwanie
nowych rozwiązań

A Nitrytacja, Anammox

B Nitrytacja, Anammox, Denitryfikacja

C Denitryfikacja-Anammox

¹⁾ Ali M, Okabe S. (2015): Anammox-based technologies for nitrogen removal: Advances in process start-up and remaining issues, Chemosphere 141, 144-153

Prezentacja przygotowana przez członków Zespołu Technologii Wody i Ścieków Politechniki Warszawskiej

dr hab. inż. Monika Żubrowska-Sudoł, prof. uczelni

dr inż. Justyna Walczak

dr inż. Beata Karolinczak

dr inż. Klara Ramm

mgr inż. Katarzyna Sytek-Szmeichel

mgr inż. Aleksandra Bogdanowicz

mgr inż. Olga Zając



Zakład Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków
Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska
Politechnika Warszawska
ul. Nowowiejska, 20, 00-653 Warszawa
e-mail: monika.sudol@pw.edu.pl



Politechnika Warszawska



Wydział Instalacji
Budowlanych, Hydrotechniki
i Inżynierii Środowiska
Politechnika Warszawska



**Zakład Zaopatrzenia w Wodę
i Odprowadzania Ścieków**