



UNIwersytet
Warszawski

Wydział Biologii



Pasywne systemy oczyszczania wód i ścieków: mechanizmy działania oraz przykłady zastosowań

dr hab. Łukasz Drewniak, prof. ucz.

Pracownia Analizy Skazań Środowiska,
Wydział Biologii, Uniwersytet Warszawski
RDLS Sp. z o.o.

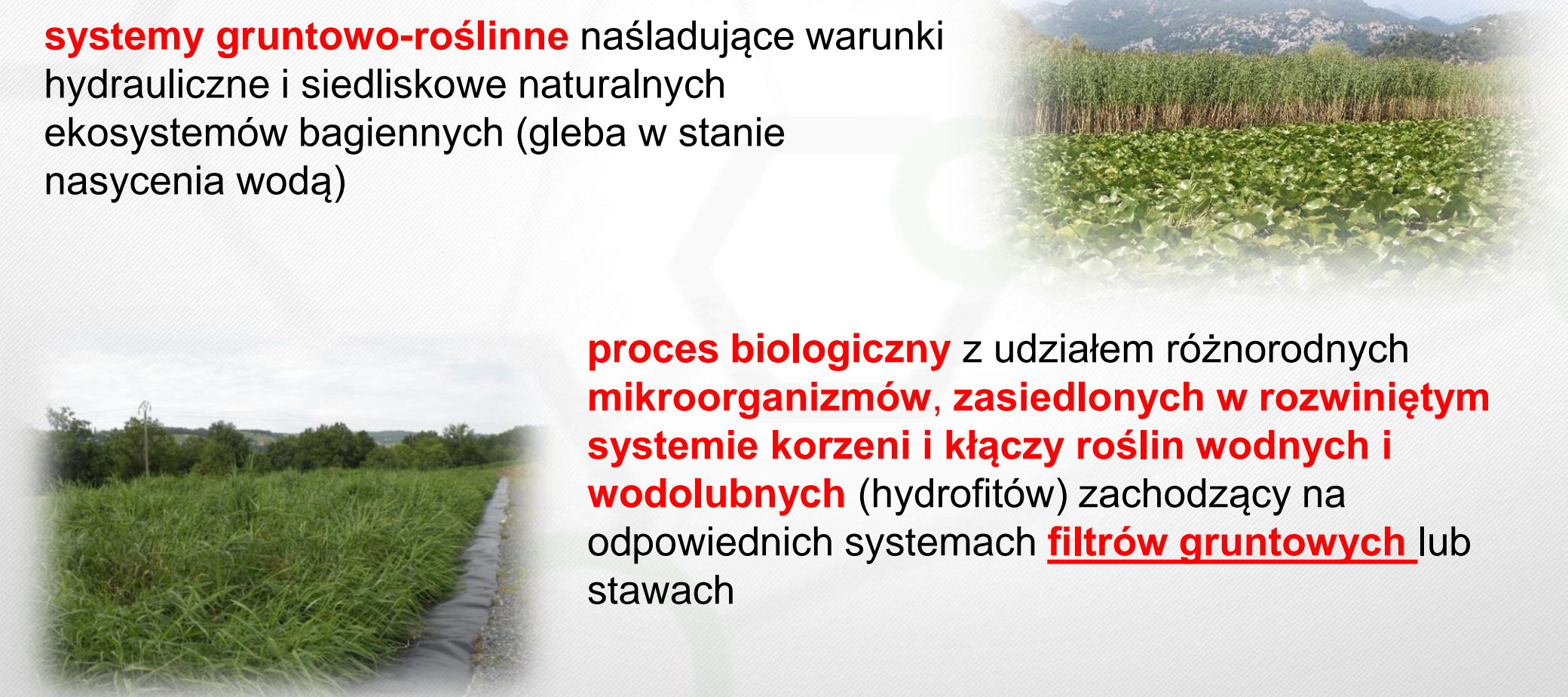
PLAN PREZENTACJI

- ✓ Definicja i obszary zastosowań
- ✓ Jak działają „filtry” w pasywnych systemach?
- ✓ Jaka jest rola mikroorganizmów?
- ✓ Jaka jest rola roślin?
- ✓ **Jakie są mechanizmy usuwania fosforu?**
- ✓ Jaka jest wydajność procesu oczyszczania? (przykłady wdrożeń)

Systemy bagienne - oczyszczalnie hydrofitowe

systemy gruntowo-roślinne naśladujące warunki hydrauliczne i siedliskowe naturalnych ekosystemów bagiennych (gleba w stanie nasycenia wodą)

proces biologiczny z udziałem różnorodnych mikroorganizmów, zasiedlonych w rozwiniętym systemie korzeni i kłączy roślin wodnych i wodolubnych (hydrofitów) zachodzący na odpowiednich systemach filtrów gruntowych lub stawach



Obszary zastosowań

- **ścieki komunalne** (wsie, osiedla, zakłady, domy);
- **ścieki rolnicze** (fermy świń, winiarnie, sady, gospodarstwa mleczarskie);
- **odcieki ze składowisk** odpadów stałych;
- **zanieczyszczona woda deszczowa** (drogi i autostrady, parkingi, lotniska, magazyny, szklarnie);
- **ścieki przemysłowe** (żywność, środki chemiczne, papier, tekstylia, skóry it);



Foto: Paul Frank



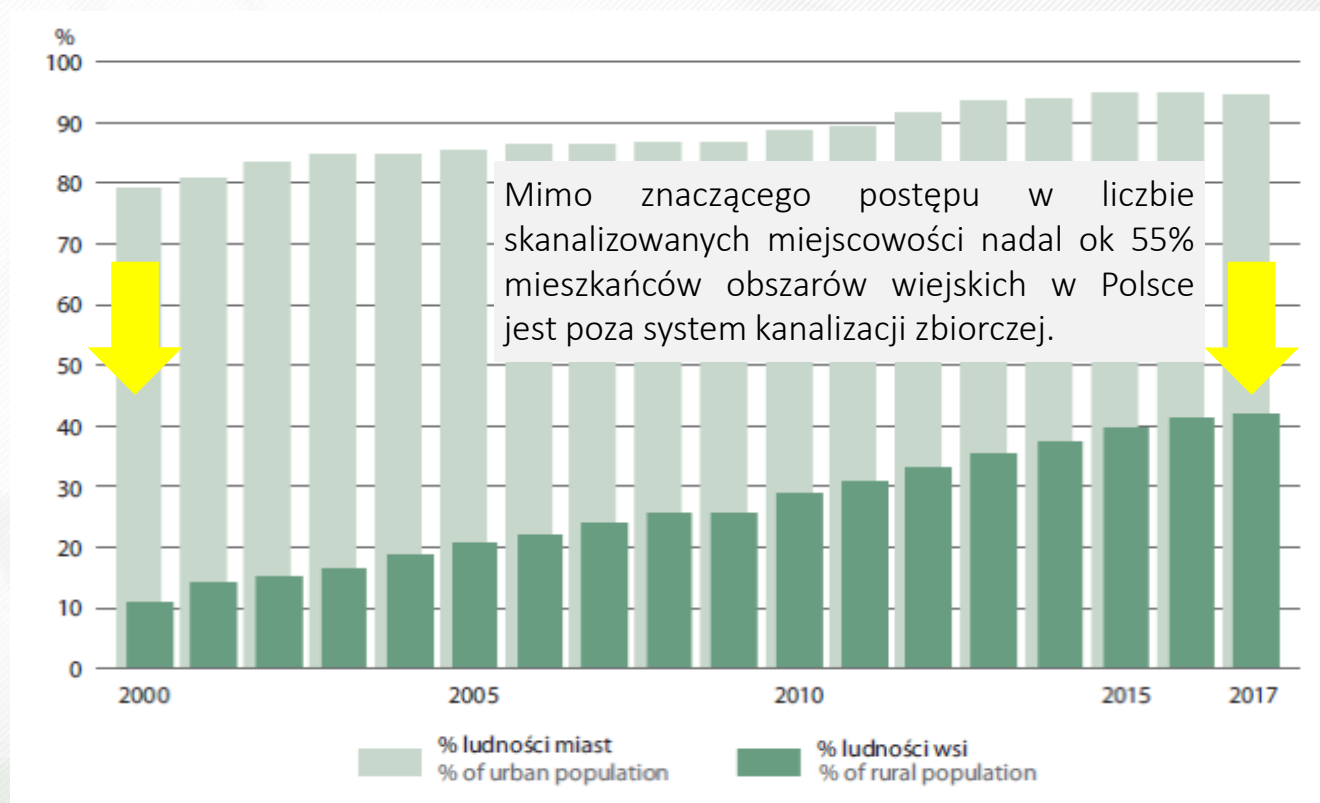
Foto: Jan Vymazal



Foto: Dave Wood

Wyzwania związane z gospodarką ściekową na obszarach wiejskich

- Relatywnie niska gęstość zabudowy na terenach wiejskich generuje wysokie koszty budowy sieci kanalizacyjnej.
- Część miejscowości jest znacznie oddalona od istniejącej sieci kanalizacyjnej.
- Wysokie koszty budowy i późniejszego utrzymania klasycznych oczyszczalni mechaniczno-biologicznych.
- Problemy z pozyskaniem wykwalifikowanej kadry, która mogłaby nadzorować i konserwować oczyszczalnie mechaniczno-biologiczne.



Ludność korzystająca z oczyszczalni ścieków. Źródło: Gospodarka wodociągowa i kanalizacyjna w Polsce w 2017 r. Informacja sygnałowa GUS

Pasywne systemy vs konwencjonalne oczyszczalnie ścieków

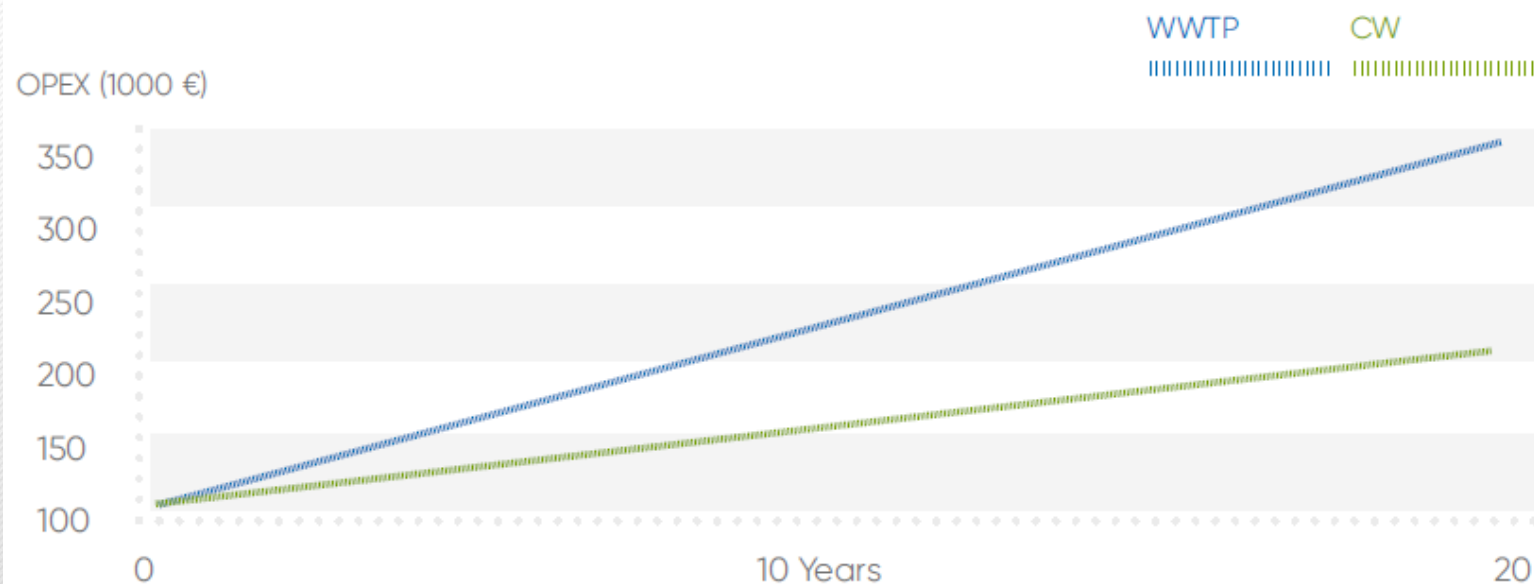
- łatwa i prosta obsługa
- **odporność na nierównomierny dopływ ścieków**
- opłacalne dla mniejszych przepływów
- konkurencyjne koszty = brak mieszania, napowietrzania, ogrzewania, przepływy grawitacyjne
- **brak osadów wtórnych**



Pasywne systemy vs konwencjonalne oczyszczalnie ścieków

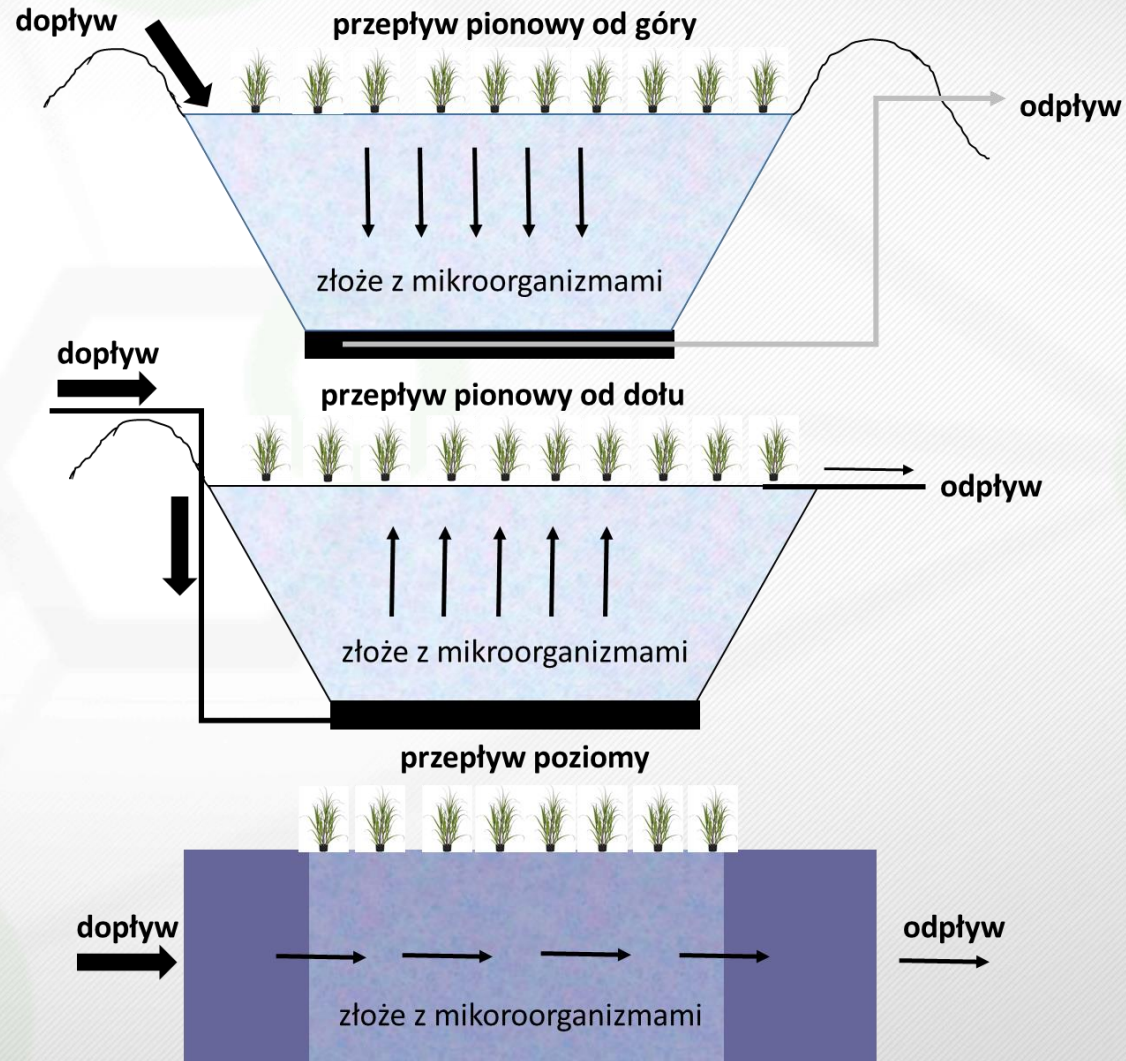
Koszty operacyjne

OPEX FOR 250 INHABITANTS -
COMPARISON OF CW AND CONVENTIONAL SYSTEM



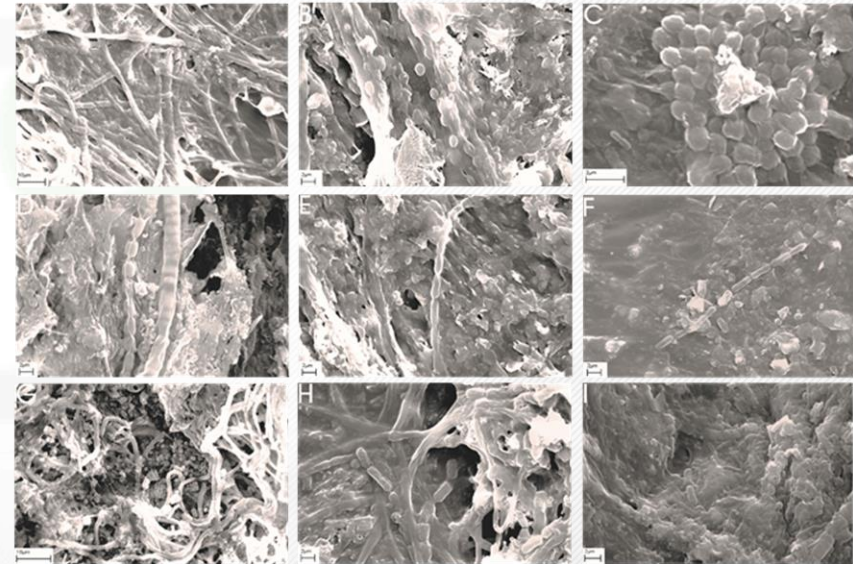
Zasada działania systemów pasywnych

- **sorpcja** - fizyczne i chemiczne zatrzymywanie zanieczyszczeń na złożach
- **akumulacja** w biomasie
- **asymilacja** przez biomasę
- **biodegradacja** za pomocą mikroorganizmów
- **transformacje** do lotnych związków

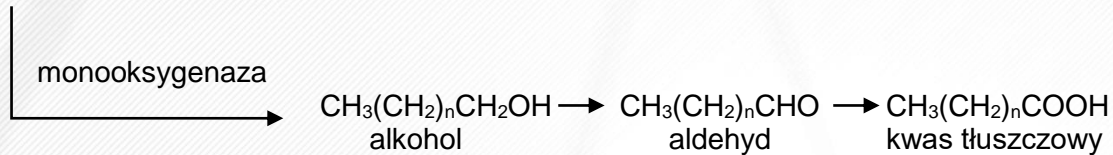
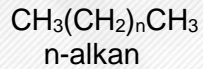


Rola mikroorganizmów w pasywnych systemach

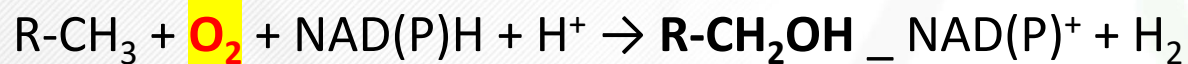
- degradacja i asymilacja związków węgla
- asymilacja i ulatnianie związków azotu
- asymilacja i wytrącanie związków siarki
- zatrzymywanie związków fosforu
- zatrzymywanie metali ciężkich



Mikrobiologiczny rozkład związków organicznych



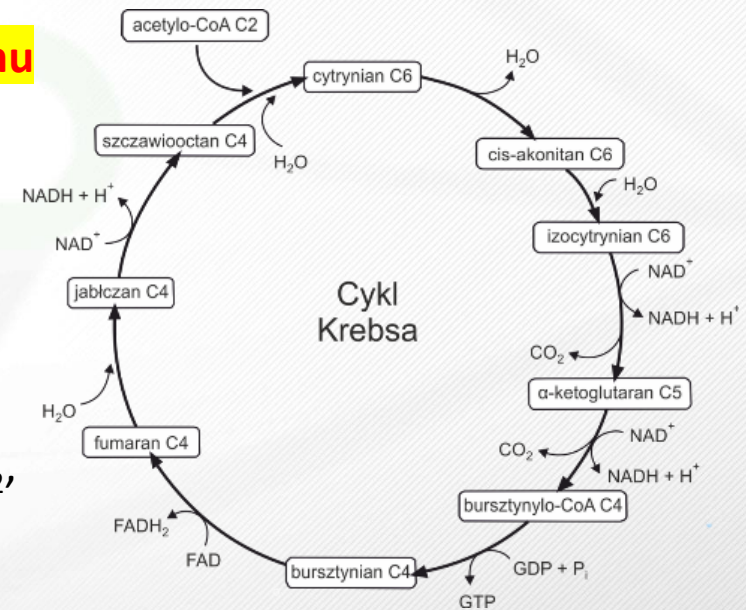
- ✓ utlenianie związków organicznych = **potrzeba dostarczenia tlenu**



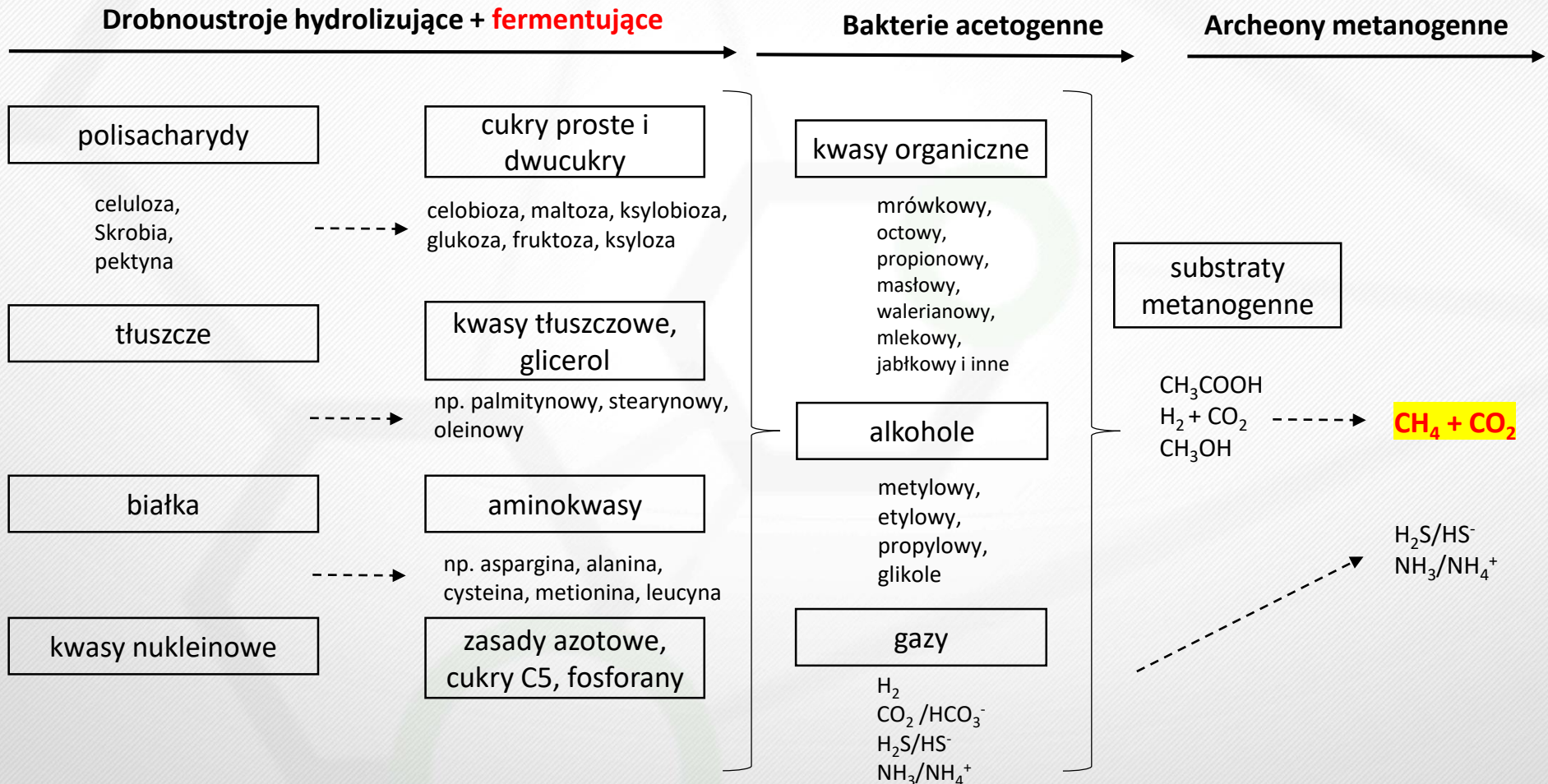
- ✓ utlenianie do alkoholi, aldehydów i kwasów tłuszczowych

- ✓ kwasy tłuszczowe przechodzą proces **β-oksydacji**,

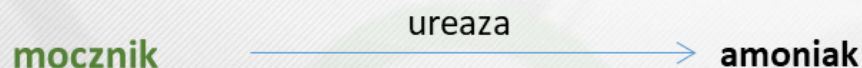
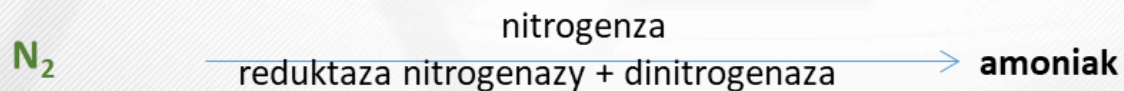
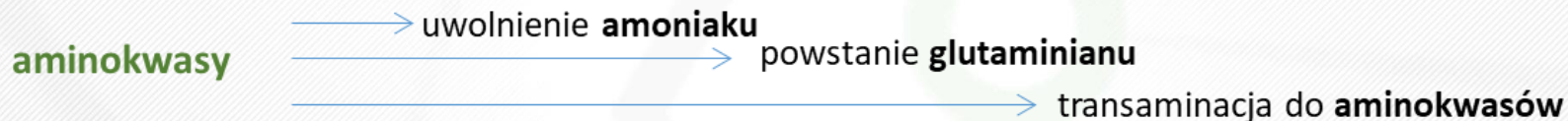
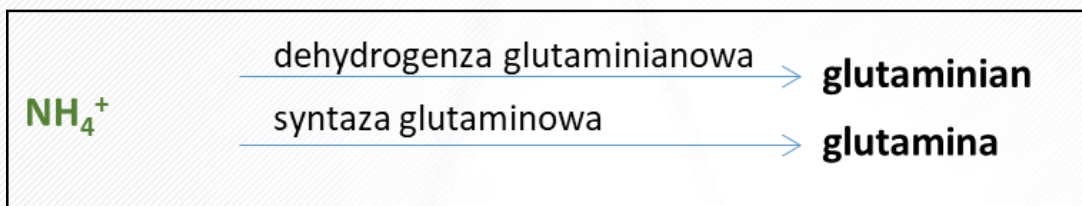
- ✓ powstały **acetylo-CoA** zostaje włączony w **cykl Krebsa** (CO_2 , energia, biomasa, metabolity)



Mikrobiologiczny rozkład związków organicznych



Mikrobiologiczne transformacje związków azotu



95% azotu komórkowego w reakcjach biosyntezy jest dostarczanych przez glutaminian i glutaminę

Mikrobiologiczne transformacje związków azotu

Nitryfikacja

Utlenianie azotu amonowego

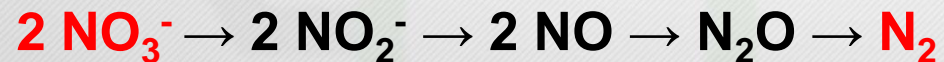


Utlenianie azotanów(III) do azotanów (V)



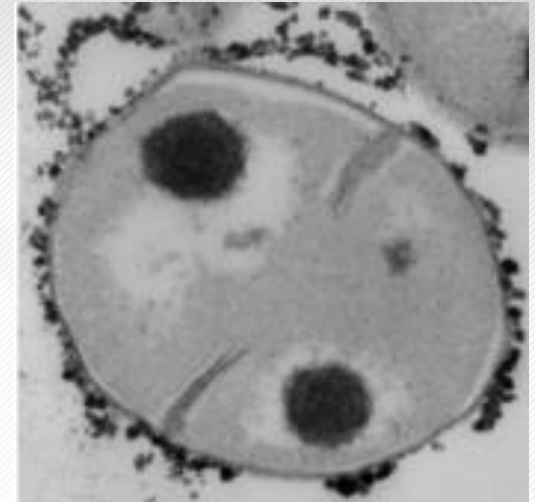
Denitrifikacja

- azotany i azotyny są redukowane do związków gazowych **w warunkach beztlenowych**
- sprzężone z utlenianiem związków organicznych



Wewnątrzkomórkowa kumulacja polifosforanów

- ✓ pobieranie fosforanów i **kumulowanie** ich w formie **poli-P**
- ✓ kumulacja w cytoplazmie
- ✓ cykliczne i liniowe skondensowane **metafosforany** $Me_nP_nO3_n$
- ✓ wzmożone **pobieranie fosforanów** w warunkach **ograniczenia stężenia N i S** w podłożu
- ✓ nadmierna kompensacja fosforanów w hodowlach, w których **po okresie niedoboru fosforanów** pierwiastek ten pojawia się w dużych stężeniach (wody powierzchniowe)
- ✓ **w warunkach beztlenowo-tlenowych** (przemienne mieszanie i napowietrzenie) stymuluje rozwój bakterii kumulujących polifosforany

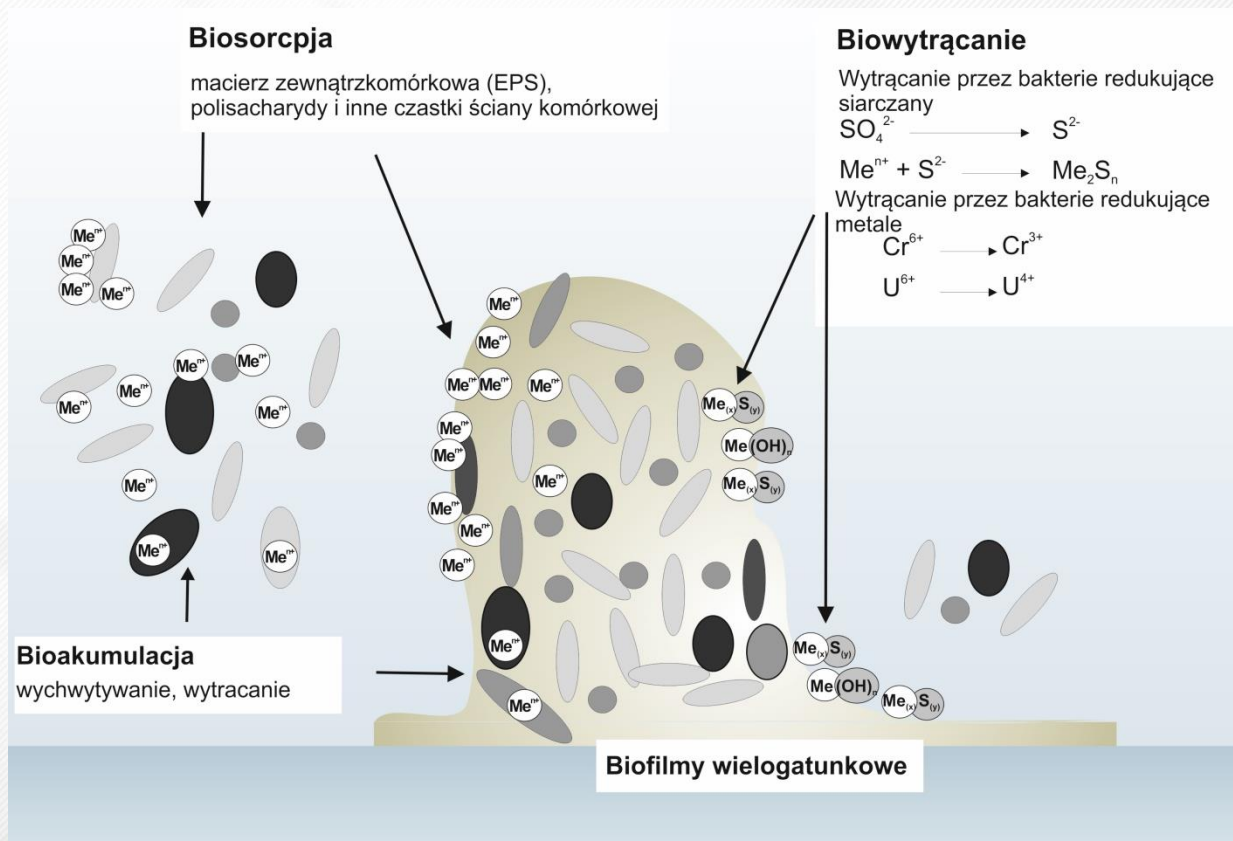


Günther et al., Appl Environ Microbiol, 2009

Zatrzymywanie metali ciężkich

Usuwanie metali w formie:

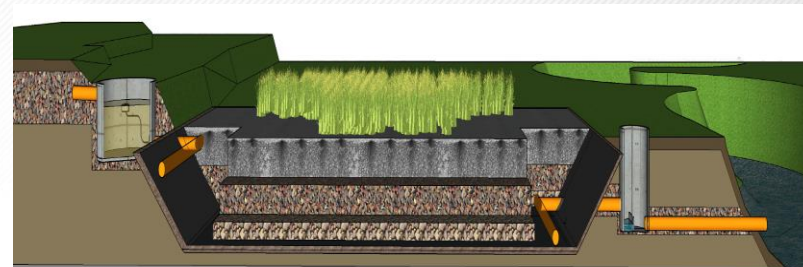
- **siarczków** (CuS, PbS, ZnS, CdS, NiS, FeS₂)
- **wodorotlenków** (Fe(OH)₃, Al(OH)₃, Mn(OH)₂)
- **węglanów** (FeCO₃, MnCO₃, ZnCO₃)



Drewniak & Uhrynowski 2016 *Metal- microbe interactions and bioremediation* (CRC Press)

Rośliny w pasywnych systemach oczyszczania

- **równomierne przesączanie się ścieków** - system kłączy i korzeni rozprzestrzenia się we wszystkich kierunkach w podłożu
- **stabilizacja przewodności hydraulicznej** - cylindryczne przestrzenie i kanaliki po obumierających korzeniach
- **źródło materii organicznej dla mikroorganizmów** – nośnik i źródło węgla organicznego
- **natlenianie** w warunkach niedotlenienia – wytworzenie pustych kanałów przewietrzających w łodygach (np. liza komórek u trzciny lub miękisz powietrzny)
- **akumulacja azotu i fosforu** w tkankach roślin - rozbudowany system kłączy i korzeni = intensywny przyrost biomasy=intensywna transpiracja wody z systemu do atmosfery = akumulacja azotu i fosforu



Rośliny w pasywnych systemach oczyszczania



trzcina pospolita
(*Phragmites australis*)



wierzba krzewiasta
(*Salix viminalis*)



manna mielec (*Glyceria aquatica*)



pałka szerokolistna
(*Typha latifolia*)



turzyce
(*Carex*)



sit (*Juncus* sp.)

Usuwanie fosforu

- ✓ usuwanie ortofosforanów, polifosforanów i organicznych związków fosforu
- ✓ procesy **abiotyczne**:
 - **wytrącanie** nierozpuszczalnych fosforanów z jonami Fe^{3+} , Ca^{2+} , Al^{3+}
 - **sorpcja** przez cząsteczki łu, torfu, tlenków i wodorotlenków Fe i Al
- ✓ procesy **biotyczne**:
 - **asymilacja** związków organicznych i nieorganicznych przez bakterie
 - **pobieranie i akumulacja** (w nadziemnych częściach roślin) przez korzenie roślin wodnolubnych

Usuwanie fosforu

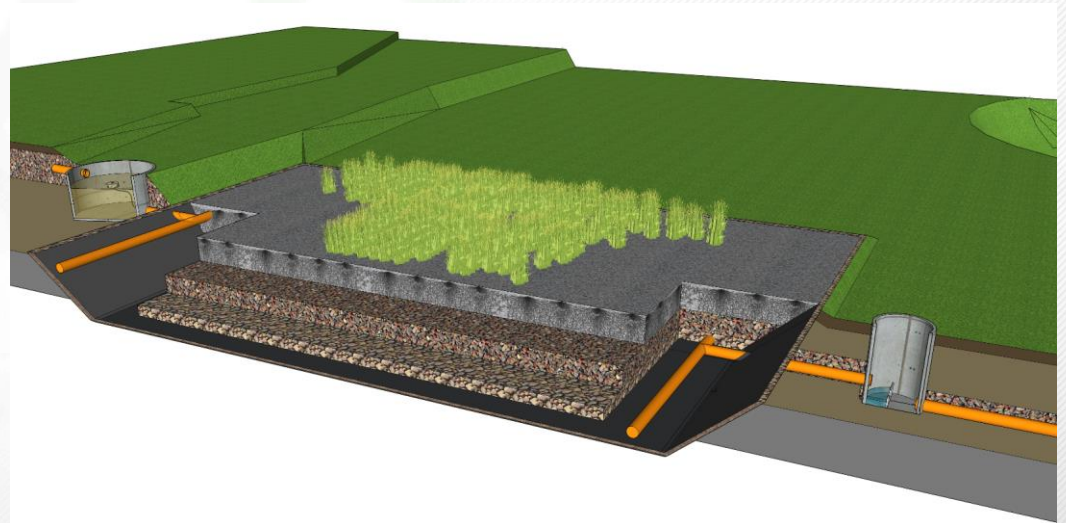
Stosowanie P-FILTRÓW (złoża na bazie Fe i Al) do sorpcji fosforu ze ścieków wstępnie podczyszczonych



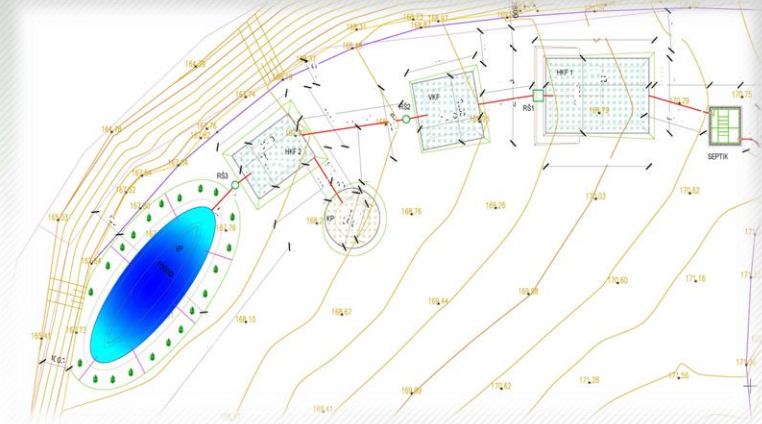
P-filtr w hydrofitowej oczyszczalni ścieków w Kosobudach na terenie RPN - 2014 r. (Q=2 m³/d)

Optymalizacja pasywnych systemów

- ✓ **kolejność reaktorów** (tlenowe/beztlenowe, horyzontalne/wertykalne)
- ✓ **wielkość reaktorów** vs. czas zatrzymania w reaktorze (sezon letni/zimowy)
- ✓ dobór odpowiednich roślin
- ✓ dobór odpowiedniego złoża (żwiru)
- ✓ odpowiedni czas rozruchu instalacji
- ✓ **inokulacja mikroorganizmami**



Schemat pasywnego systemu



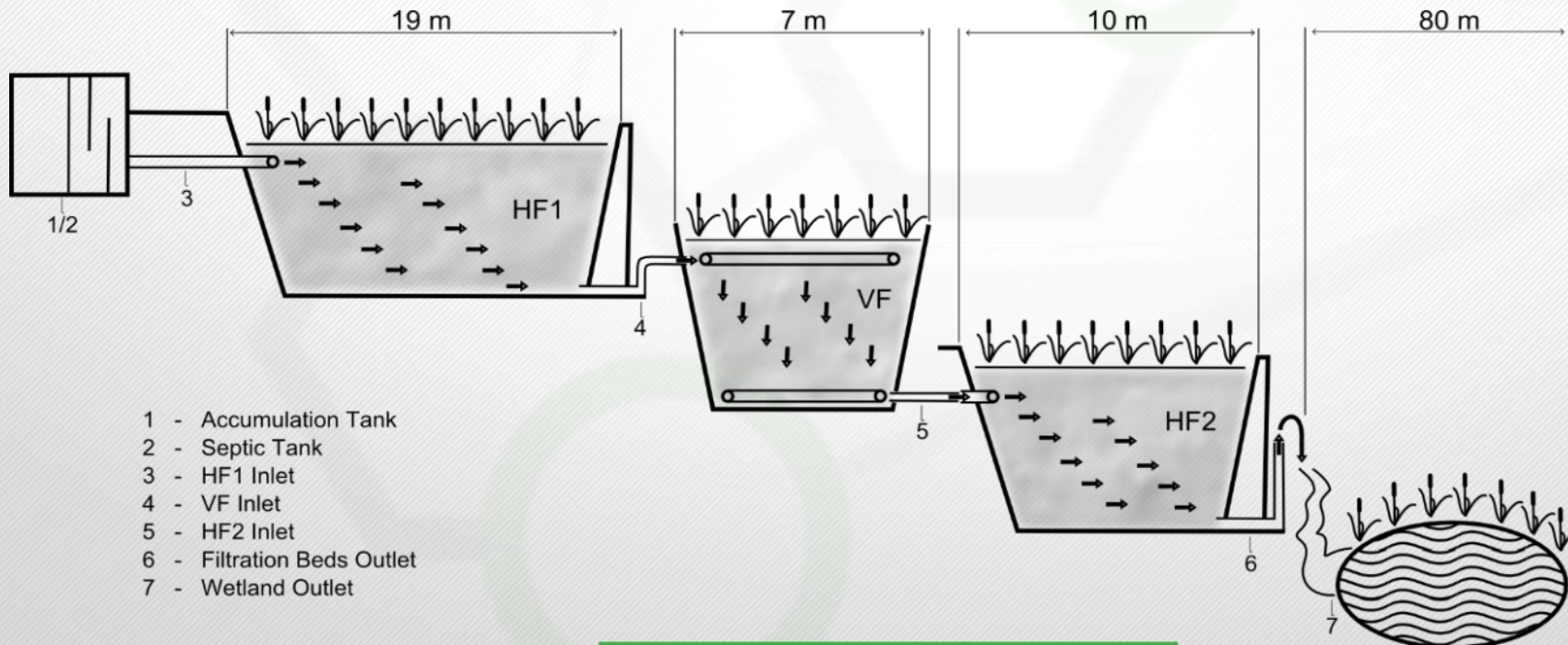
Zbiornik
septyczny

Filtr
poziomy

Filtr
pionowy

Filtr
poziomy

Staw
stabilizacyjny



Drobne i grube sita, filtry oleju i piasku



Zbiornik septyczny

- Trzy lub więcej komór;
- plastikowy lub betonowy;
- podstawowe oczyszczanie surowych ścieków:
 - sedymentacja;
 - beztlenowa degradacja ścieków i osadów.



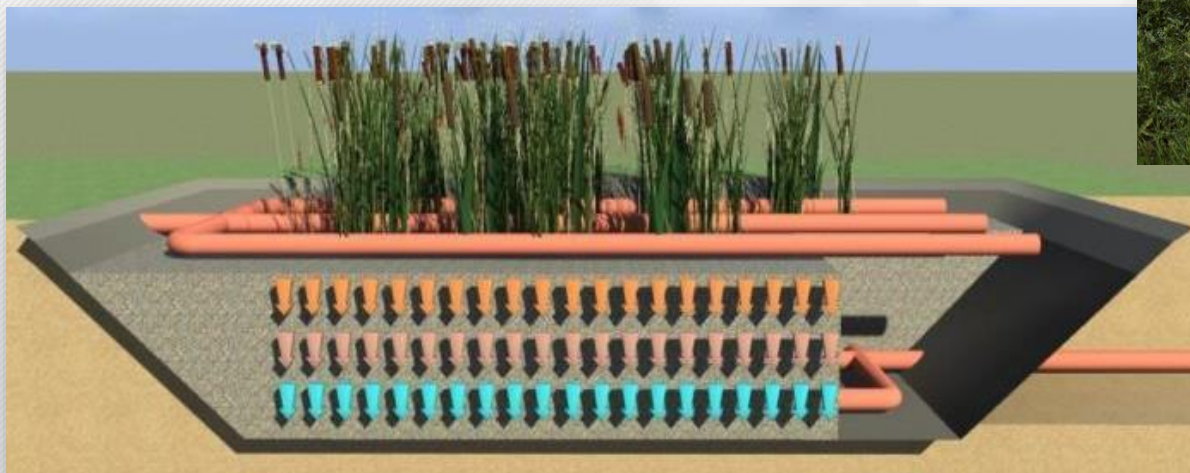
Filtr poziomy

- spływ horyzontalny;
- działa wyłącznie **po wstępnej obróbce mechanicznej**;
- warunki w większości **beztlenowe**;
- nasycone ściekami.



Filtr pionowy

- spływ pionowy;
- drobniejszy materiał filtrujący;
- powierzchniowe zraszanie
- środowisko **tlenowe** zapewnia usuwanie amoniaku i fosforu



Staw stabilizacyjny

- fakultatywny element
- płytki zbiornik, dobrze natleniony
- potrzeba zapewnienia wyższej jakości oczyszczonej wody
- poniżej filtrów poziomych
- redukcja stężenia amoniaku,
- obniżenie stężenia ChZT



Warunki dla odpowiedniej lokalizacji

Ukształtowanie terenu – nachylenie: **system grawitacyjny.**

Odpowiedni obszar: **5 m² / RLM**

Odległości od: instalacji podziemnych, ujęć wody.



Przykładowe projekty

Rozbudowa systemu w **Kotenčicach**

Klient: miasto Kotenčice

Lokalizacja: Kotenčice, Republika Czeska

Okres budowy: kwiecień-czerwiec 2012

- ✓ oczyszczanie ścieków komunalnych
- ✓ filtr poziomy -> pionowy -> poziomy
(**HF-VF-HF**)
- ✓ przepływ podpowierzchniowy
- ✓ wydajność **300 RLM.**



Przykładowe projekty

Budowa systemu w **Chrámcech**

Klient: Sady w Chateau Chrámce

Lokalizacja: Chrámce, Republika Czeska

Okres budowy: październik 2012

- ✓ oczyszczanie ścieków komunalnych
- ✓ filtr poziomy -> pionowy -> poziomy
(**HF-VF-HF**)
- ✓ przepływ podpowierzchniowy
- ✓ wydajność **150 RLM.**



Przykładowe projekty

Budowa systemu w **Mirošovicach**

Klient: miasto Hrobčice

Lokalizacja: Mirošovice

Okres budowy: 2016

- ✓ oczyszczanie ścieków komunalnych
- ✓ filtr poziomy -> pionowy (**HF-VF**)
- ✓ przepływ podpowierzchniowy
- ✓ wydajność **75 RLM**



Przykładowe projekty

Budowa systemu w Nečichy

Klient: miasto Louny

Lokalizacja: Nečichy, Republika Czeska

Okres budowy: wrzesień-grudzień 2015

- ✓ oczyszczanie ścieków komunalnych
- ✓ filtr poziomy -> pionowy (**HF-VF**)
- ✓ przepływ podpowierzchniowy
- ✓ wydajność **120 RLM**



Przykładowe projekty

Budowa systemu w Brlohu

Klient: miasto Louny

Lokalizacja: Brloh, Republika Czeska

Okres budowy: wrzesień 2016 - maj 2017

- ✓ oczyszczanie ścieków komunalnych
- ✓ filtr poziomy -> pionowy -> poziomy
(**HF-VF**)
- ✓ przepływ podpowierzchniowy
- ✓ wydajność **150 RLM**



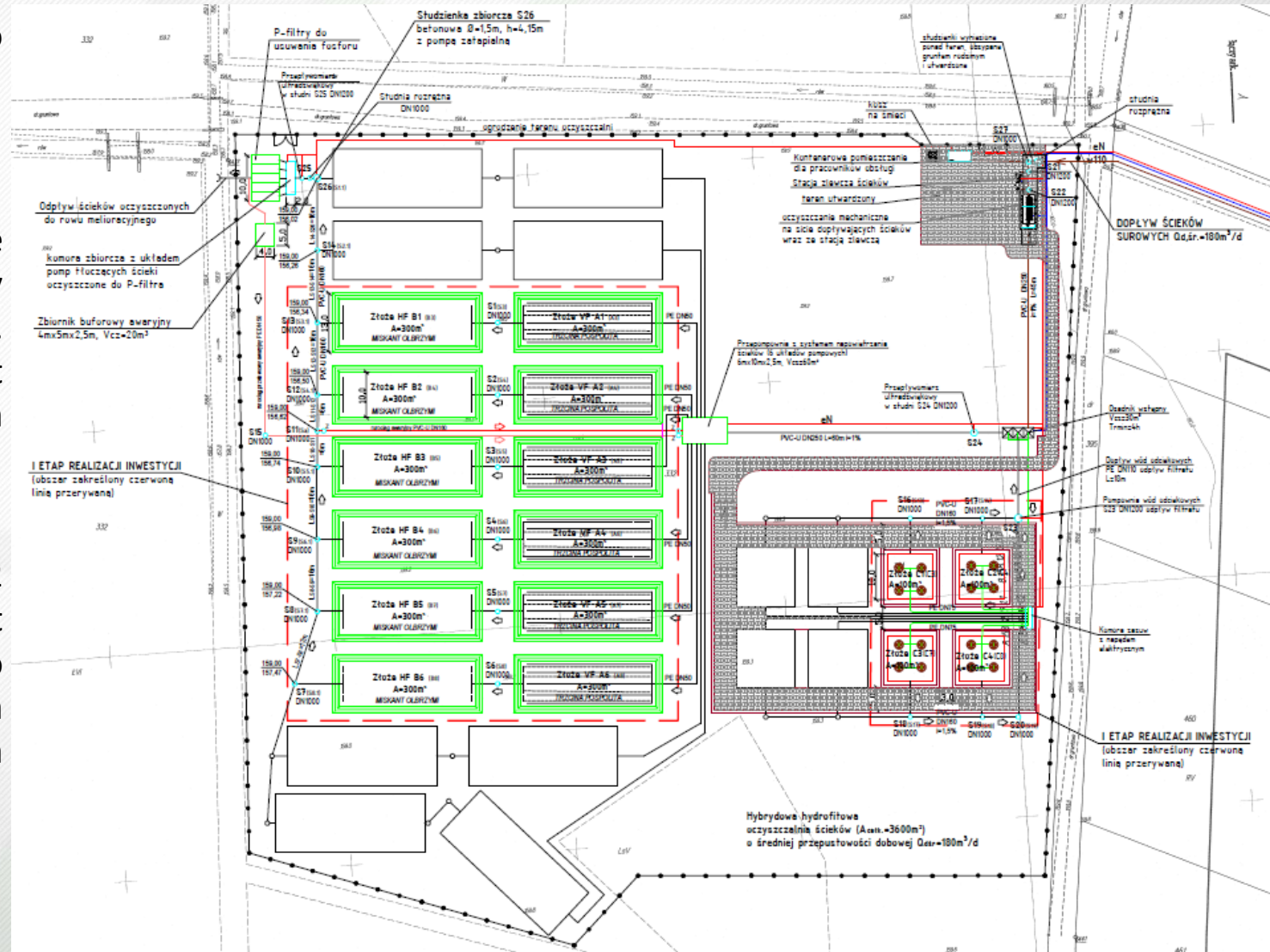
Efektywność

Stopień redukcji zanieczyszczeń [%]

System	ChZT	BZT	P ogł.	N ogł.	N – NH ₄ ⁺	Zawiesiny
HF-VF 120 RLM (Nečichy)	75-80	85-90	24-89	55-63	70-88	78-90
HF-VF 150 RLM (Brloh)	86-90	90-98	26-62	49-62	61-86	81-96
HF-VF 75 RLM (Mirošovice)	84-98	91-99	65-83	78-83	71-99	89-98
HF-HF-VF 300 RLM (Kotenčice)	90-92	96-98	45-76	73-81	90-99	93-95
HF-HF-VF 150 RLM (Chrámce)	88-93	94-97	52-80	75-84	89-97	90-94

PROJEKT BUDOWY HYBRYDOWEJ HYDROFITOWEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW W BIAŁCE NAD JEZ. BIALSKIM– GMINA DĘBOWA KŁODA (Q=180 m³/d)

- Jedna z największych tego typu inwestycji w Europie.
- Naukowcy z Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie wykonali koncepcję budowy i zaprojektowali inwestycję. Spółka RDLS jest odpowiedzialna za wybudowanie oczyszczalni.
- Obiekt zajmie teren ok 1.2 hektara. Przewidywana jest rozbudowa oczyszczalni. Po rozbudowie oczyszczalnia będzie miała przepływ na poziomie 360 m³/d





UNIwersytet
Warszawski

Wydział Biologii



Dziękuję bardzo

dr hab. Łukasz Drewniak, prof. ucz.

ldrewniak@biol.uw.edu.pl

Wydział Biologii, Uniwersytet Warszawski
RDLS Sp. z o.o.