

# Sekwencyjne systemy sedymentacyjno- -biofiltracyjne do oczyszczania wód powierzchniowych w obszarach zurbanizowanych

Dr Sebastian Szklarek<sup>1</sup>

Prof. dr hab. Maciej Zalewski<sup>1</sup>, Prof. dr hab. Joanna Mankiewicz-Boczek<sup>1</sup>,  
dr Tomasz Jurczak<sup>2</sup>, dr Iwona Wagner<sup>2</sup>, dr Agnieszka Bednarek<sup>2</sup>

1



United Nations  
Educational, Scientific and  
Cultural Organization



• European Regional  
• Centre for Ecohydrology  
• Under the auspices  
• of UNESCO



POLISH ACADEMY of SCIENCES

2



UNIVERSITY  
OF LODZ



FACULTY OF BIOLOGY  
AND ENVIRONMENTAL  
PROTECTION

University of Lodz

## Trzy globalne problemy związane z zasobami wodnymi

➤ za dużo



pixabay.com

➤ za mało



pixabay.com

➤ zbyt zanieczyszczone



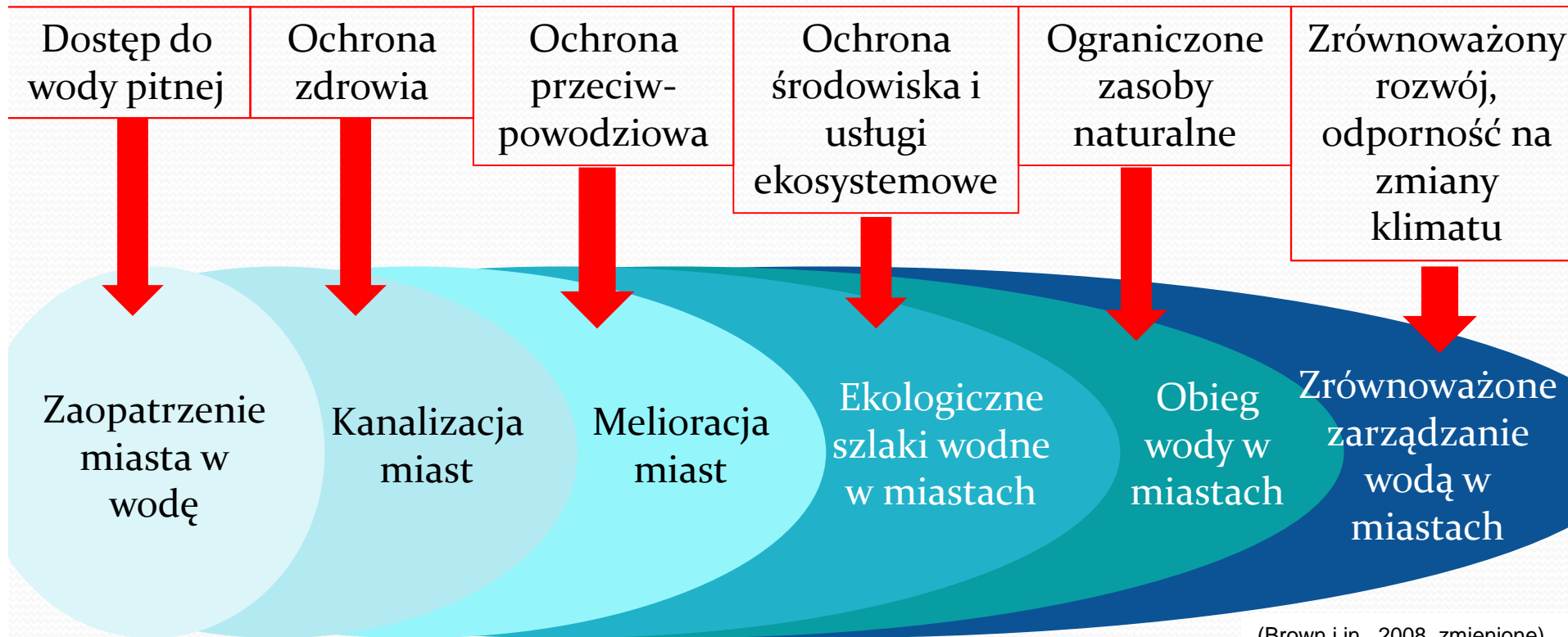
pixabay.com

### Potęgowane w miastach przez:

(Kundzewicz i Kowalczak,  
*Nature*, 2009)

- Antropogeniczna presja na środowisko wynikająca z: intensywnej urbanizacji, zmniejszenie powierzchni obszarów biologicznie czynnych.
- Zmiany klimatu
- Zarządzanie zasobami wodnymi oparte o tradycyjne inżynierskie rozwiązania z zakresu melioracji i kanalizacji

# WPROWADZENIE - wyzwania



(Brown i in., 2008, zmienione)

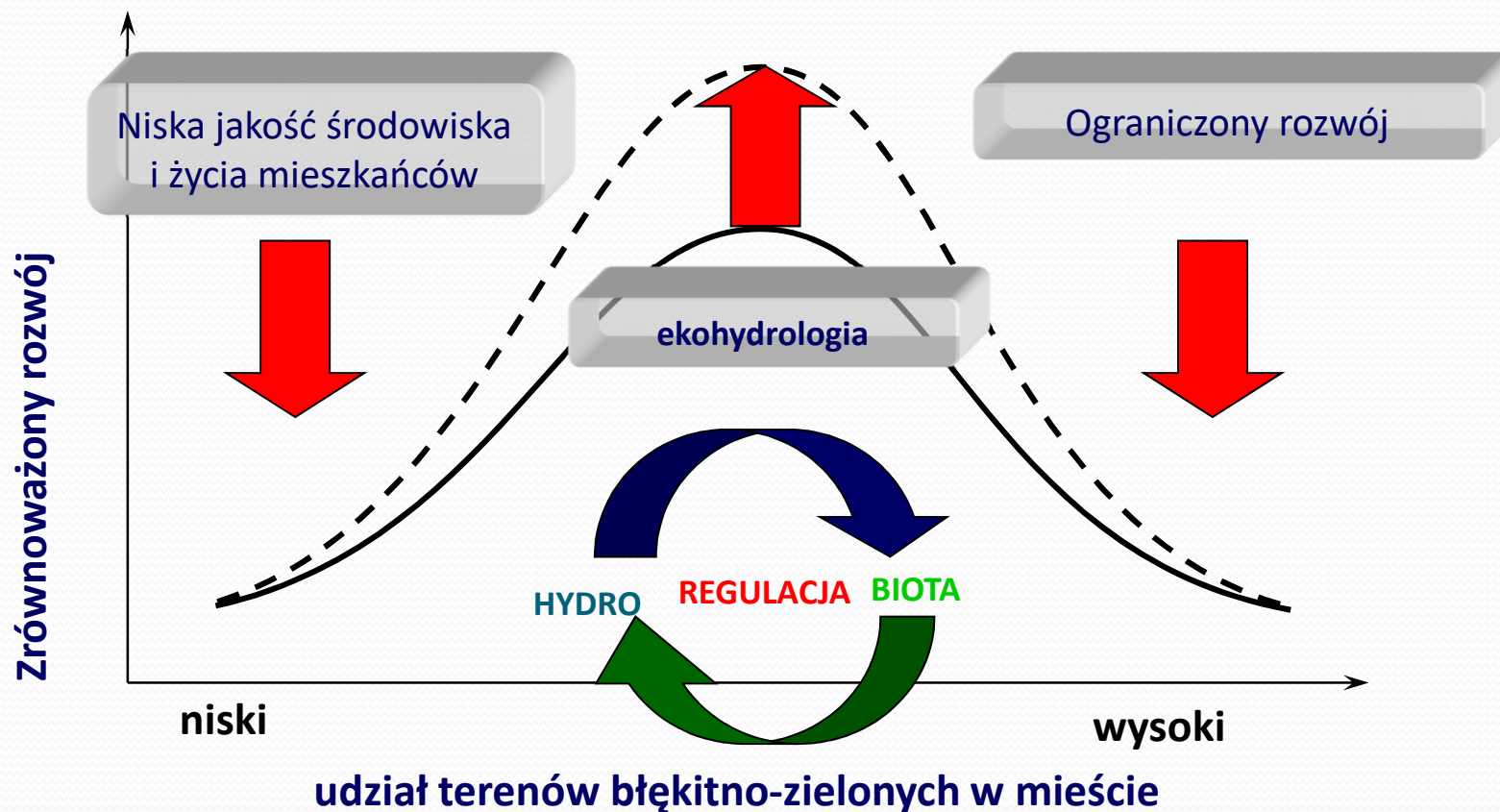


<http://www.imperiumromanum.edu.pl/>

(Fot. S. Szklarek)

(Fot. S. Szklarek)

## Harmonizacja krajobrazu miejskiego – klucz do zrównoważonego rozwoju miasta



# WPROWADZENIE - rozwiązania

**W celu sprostania wymienionym wyzwaniom, należy poszukiwać rozwiązań:**

- **Wielofunkcyjnych** – rozwiązywanie kilku problemów, nie tylko z zakresu gospodarowania wodą
- **Efektywnych ekonomicznie** – jak najniższe koszty utworzenia i eksploatacji przy jak największej efektywności poprawy jakości środowiska
- **Efektywnych przestrzennie** – zajmujących możliwie najmniejszą powierzchnię przy jak największej efektywności poprawy jakości środowiska
- **Przyjaznych dla środowiska** – co najmniej neutralne dla organizmów i ekosystemów, nawet w warunkach ekstremalnych lub w przypadku awarii
- **Atrakcyjnych dla społeczeństwa** – odpowiednie wkomponowanie w przestrzeń miejską

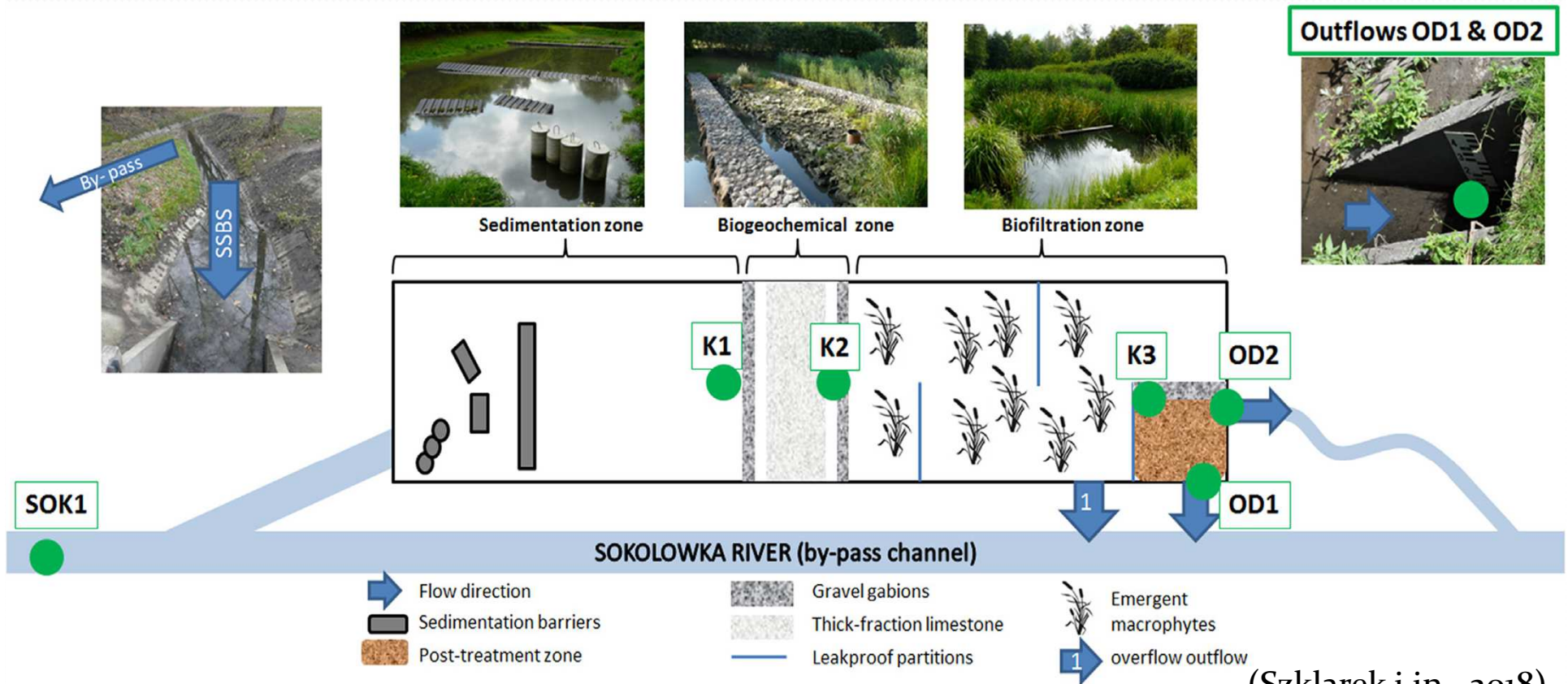
**Rozwiązanie?**

**Sekwencyjne systemy sedymentacyjno-biofiltracyjne (SSSB).**





# Sekwencyjny system sedymentacyjno-biofiltracyjny (SSSB) na rzece Sokołówce w Łodzi



(Szklarek i in., 2018)



Badania wykonane w ramach realizacji Projektu „Innowacyjne środki i efektywne metody poprawy bezpieczeństwa i trwałości obiektów budowlanych i infrastruktury transportowej w strategii zrównoważonego rozwoju” współfinansowanego przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka



# SSSB w Łodzi

## Niskie przepływy (okresy bezopadowe)

## Wysokie przepływy (w czasie opadów i roztopów)

**Sezon  
wegetacyjny**  
(śr. temp. dobowa  $>5^{\circ}\text{C}$ )



**Sezon  
spoczynkowy**  
(śr. temp. dobowa  $\leq 5^{\circ}\text{C}$ )





# Wyniki

## Dopływ zanieczyszczeń do systemu SSSB

Średnie stężenia zanieczyszczeń

cały okres

badawczy

stężenie zanieczyszczeń [mg/l]

TSS	143,98
TP	0,74
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,44
Cl <sup>-</sup>	1085,55
TN	5,91
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1,13
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	5,08
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	9,10





# Wyniki

## Dopływ zanieczyszczeń do systemu SSSB

Średnie stężenia zanieczyszczeń w wyznaczonych okresach



cały okres

Okres spoczynkowy

Sezon wegetacyjny

badawczy

PRZEPŁYW

NISKI

WYSOKI

NISKI

WYSOKI

stężenie zanieczyszczeń [mg/l]

		Okres spoczynkowy		Sezon wegetacyjny	
		NISKI	WYSOKI	NISKI	WYSOKI
TSS	143,98	46,03	294,98*	52,26	138,89*
TP	0,74	0,44	1,24*	0,41	0,73*
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,44	0,56	0,54	0,26*	0,53
Cl <sup>-</sup>	1085,55	1800,50*	2574,69*	64,51	101,96
TN	5,91	7,99*	7,34*	4,80	4,36
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1,13	1,87*	0,81	1,44*	0,45
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	5,08	7,07*	13,59*	0,29	0,16
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	9,10	14,02*	7,02	10,40*	6,34

\* Wartość istotna statystycznie z p<0,05

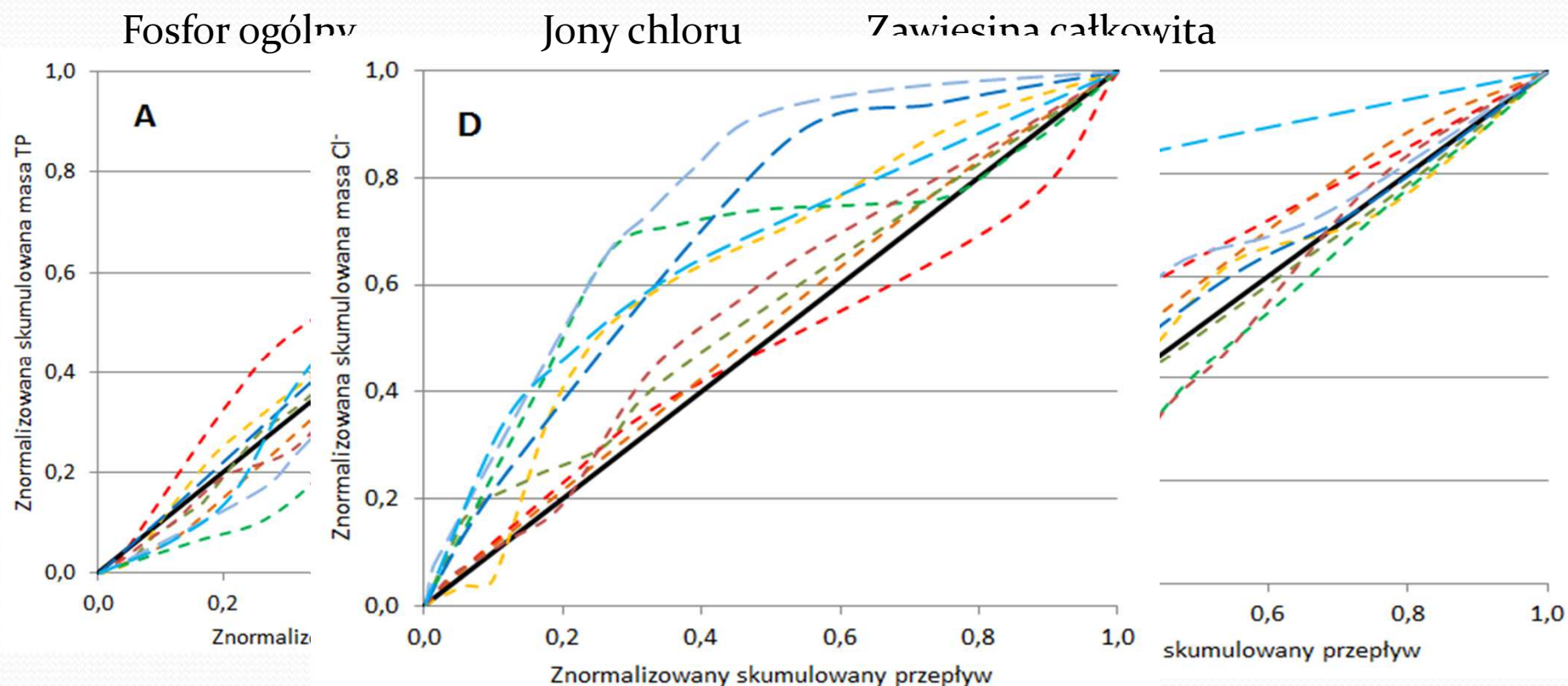


# Wyniki

## Dopływ zanieczyszczeń do systemu SSSB

### Efekt pierwszego spływu

Brak lub słaby efekt dla analizowanych zanieczyszczeń, najsilniejszy dla jonów chlorkowych.





# Efektywność pracy systemu SSSB



Efektywność pracy oczyszczalni hydrofitowej zależy w dużej mierze od jej wymiarów

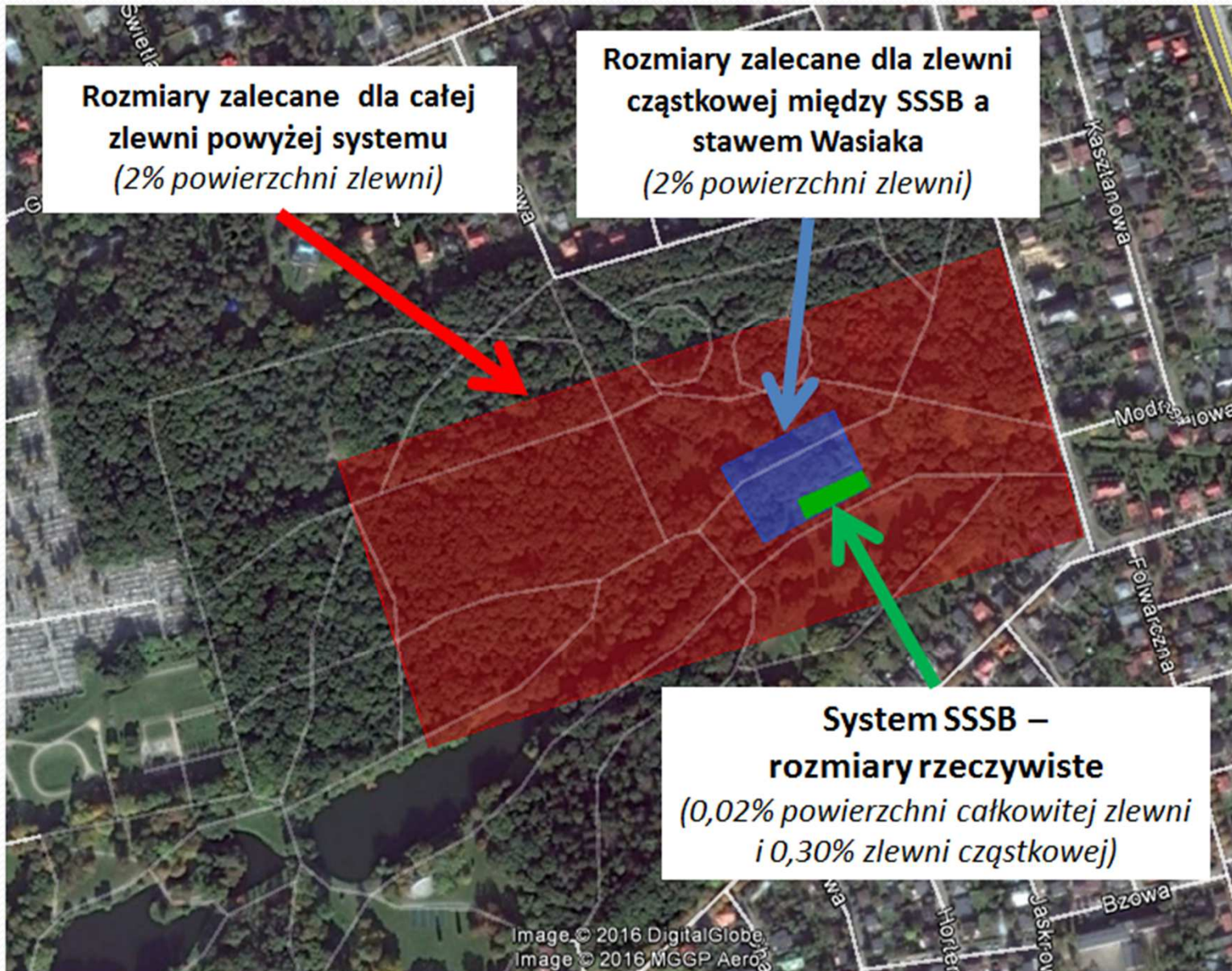
Metody określenia rozmiarów oczyszczalni hydrofitowej:

➤ **Powierzchniowa** - Stosunek powierzchni oczyszczalni do powierzchni zlewni powinien wynosić 1-2% (Schueler, 1992; Bratieres i in., 2008), a niektórzy autorzy podają, że nawet między 2% a 5% (Shutes i in., 2004).

➤ **Hydrauliczna** – wyznaczanie wymiarów oczyszczalni hydrofitowej na podstawie m.in. czasu retencji – zaleca się minimum 24-godzinny czas retencji, lub 12h jeśli istnieje ryzyko zatkania się wylotu (Ministerstwo Środowiska, Kanada, 2003; Mungasavali i Viraraghavan, 2006). Shutes i in. (2005) zalecają nawet 36-godzinny czas retencji w celu zwiększenia efektywności usuwania zawiesiny całkowitej, metali ciężkich i węglowodorów aromatycznych



# Efektywność pracy systemu SSSB





# Wyniki

## Efektywność systemu SSSB

Efektywność ogólna

cały okres

badawczy

stężenie zanieczyszczeń [mg/l]

TSS	62%*
TP	38%*
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	30%
Cl <sup>-</sup>	64%
TN	46%*
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0%
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	43%*



\* Wartość istotna statystycznie z  $p < 0,05$



# Najważniejsze wyniki

## Efektywność pracy systemu SSSB

	% powierzchni zlewni	czas retencji [dni]	Efektywność usuwania [%]					
			TN	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	TP	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	TSS
<b>SSSB</b>	<b>0,02-0,30</b>	<b>0,1-1,2</b>	<b>46</b>	<b>0</b>	<b>43</b>	<b>38</b>	<b>30</b>	<b>62</b>
Inne oczyszczalnie hydrofitowe (na podstawie Carleton i in., 2001)	2,41	5,2	21,7	54,7	39,4	45,9	35,8	57,9
	2,46	<b>60,6</b>	-11,0	10,2	-13,2	61,5	76,7	68,3
	4,46	-	-1,6	62,2	80,2	7,0	-109,0	82,9
	19,61	-	46	79,0	94,0	70,0	64	86,0
	3,75	-	22,8	55,8	54,9	39,4	68,7	65,1
	1,75	-	21	54,0	40	17,0	2	66,0
	0,06	5,0	21,4	-	-	3,0	-	-
	0,05	2,3	11,0	-	-	17,0	-	-
	0,61	9,1		22,1	28	-7,0	-	11,3
	<b>28,87</b>	-	<b>88,8</b>	<b>86</b>	<b>88,8</b>	<b>87,0</b>	-	-
	10,90	-	38	50	-	27,0	-	88,0

(Szklarek i in., 2018)



# Wyniki

## Efektywność systemu SSSB

Efektywność w wyznaczonych okresach



cały okres

badawczy

Okres spoczynkowy

Sezon wegetacyjny

PRZEPŁYW

NISKI

WYSOKI

NISKI

WYSOKI

stężenie zanieczyszczeń [mg/l]

TSS	62%*	-152%	63%*	38%*	44%*
TP	38%*	-82%	35%*	5%	31%
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	30%	15%	2%	38%	49%
Cl <sup>-</sup>	64%	40%	46%	35%*	36%
TN	46%*	33%*	41%*	56%*	22%
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0%	-1%	-28%	18%	4%
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	81%*	20%	65%	73%*	30%
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	43%*	42%*	-11%*	79%*	51%*

\* Wartość istotna statystycznie z p<0,05



# Wyniki

## Efektywność pracy systemu SSSB Strefa sedimentacyjna

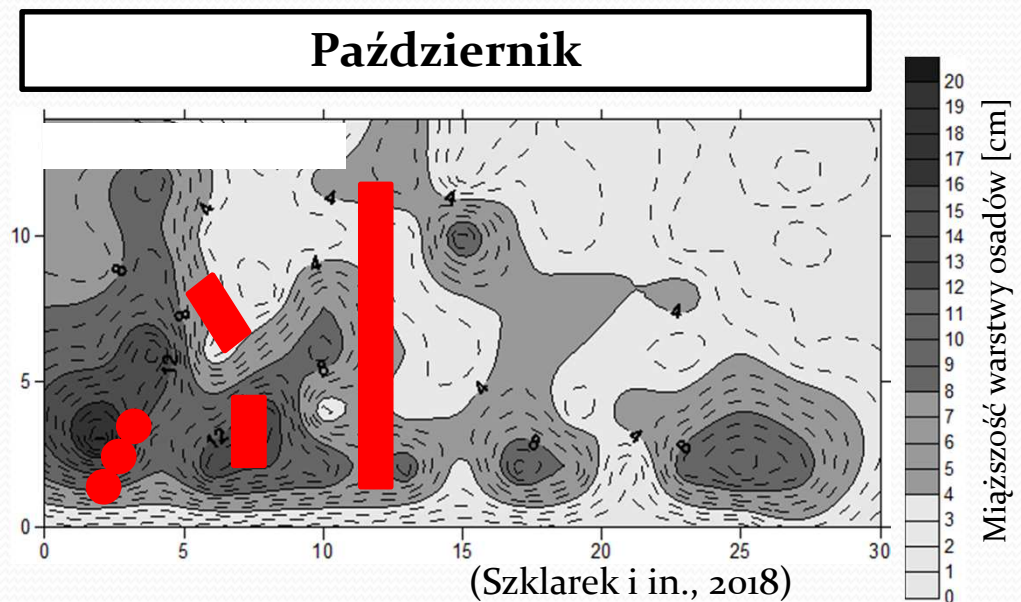
Sedymencja kluczowym procesem w usuwaniu zanieczyszczeń z wód opadowo-roztopowych (Walker, 2001; Li i in., 2007, Kadlec, 2010)

➤Dodatkowe struktury wspierają sedymencję i retencję zanieczyszczeń

(Walker, 2001; Andersson i in., 2005; Johannesson i in., 2011)

➤Transport zawiesiny jest często skorelowany z transportem innych zanieczyszczeń, w tym także azotu i fosforu całkowitego (Kim i in., 2007),

Zatem skuteczność usuwania zanieczyszczeń jest zależna od skuteczności usuwania zawiesiny (Andersson i in., 2005; Johannesson i in., 2011)



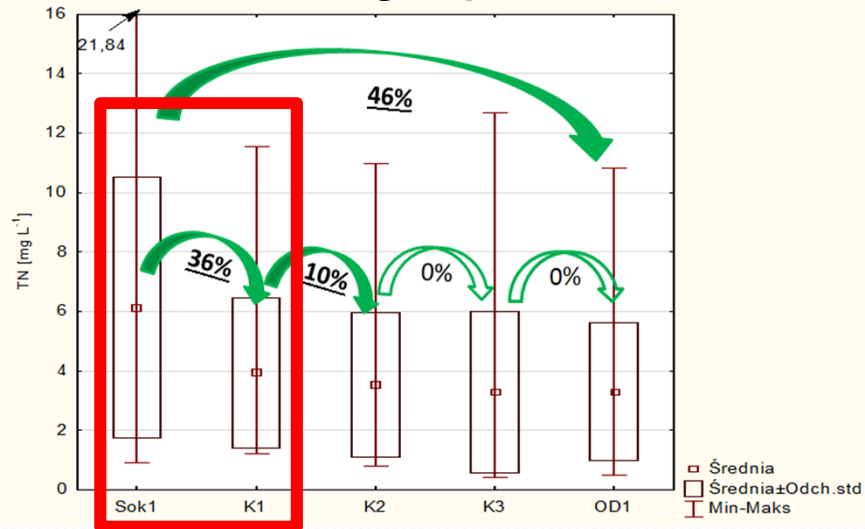


# Wyniki

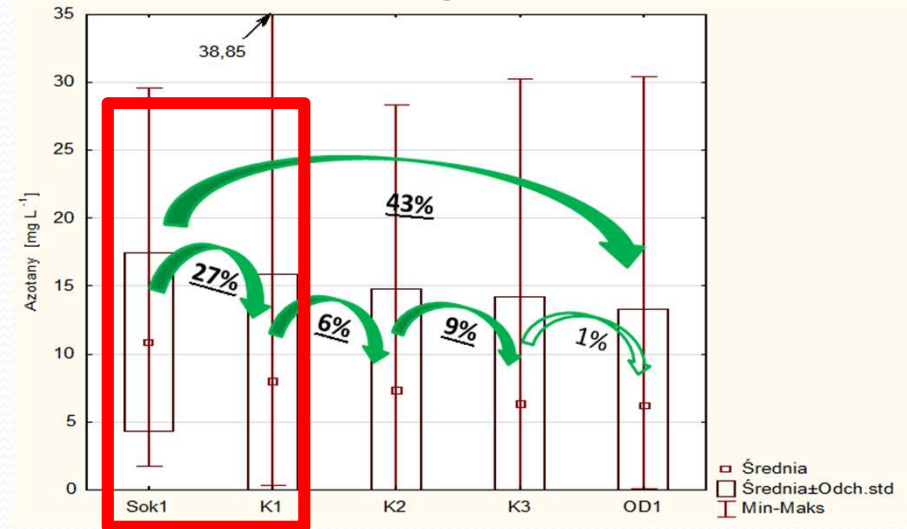
## Efektywność systemu SSSB

### Efektywność stref systemu

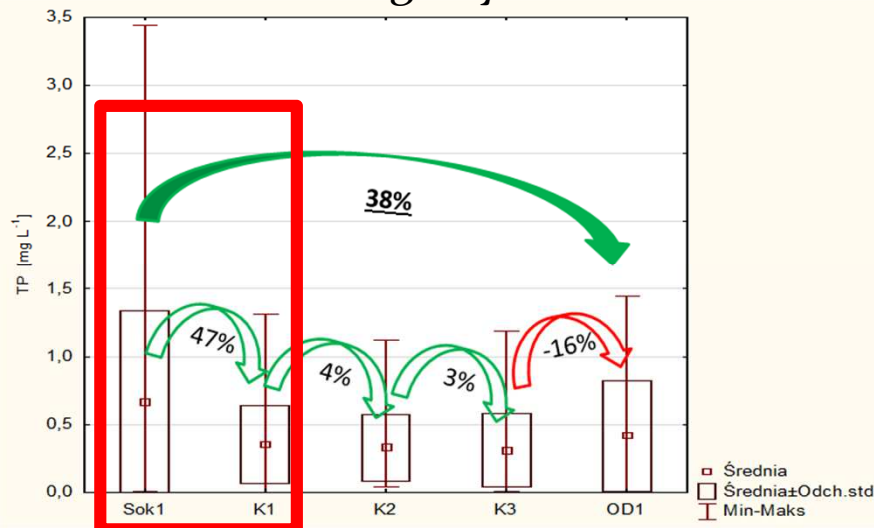
#### Azot ogólny



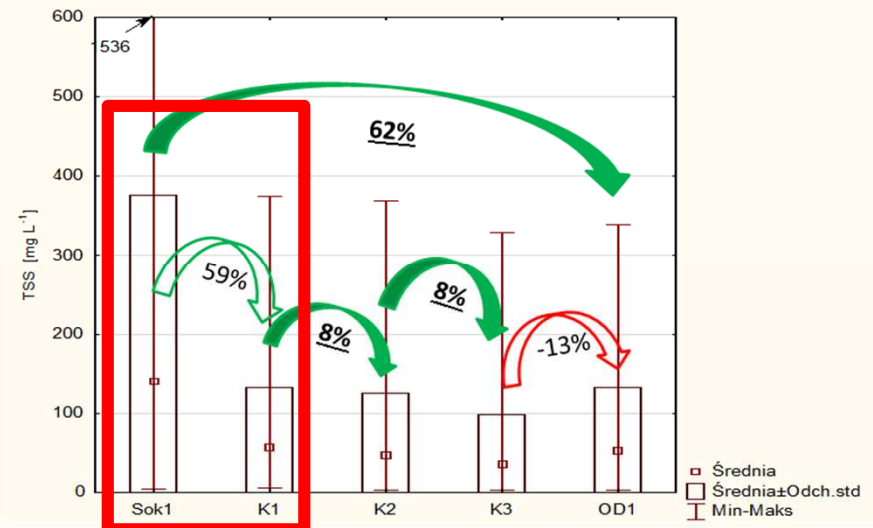
#### Azotany



#### Fosfor ogólny



#### Zawiesina całkowita



## Konstrukcja systemu hybrydowego dla retencjonowania wód opadowych – Arturówek, Łódź



Lokalizacja sekwencyjnego systemu sedymentacyjno-biofiltracyjnego (SSBS) skonstruowanego dla retencjonowania i oczyszczania wód opadowych transportowanych z ulicy Wycieczkowej do rzeki Bzury wraz z stanowiskami poboru próbek:

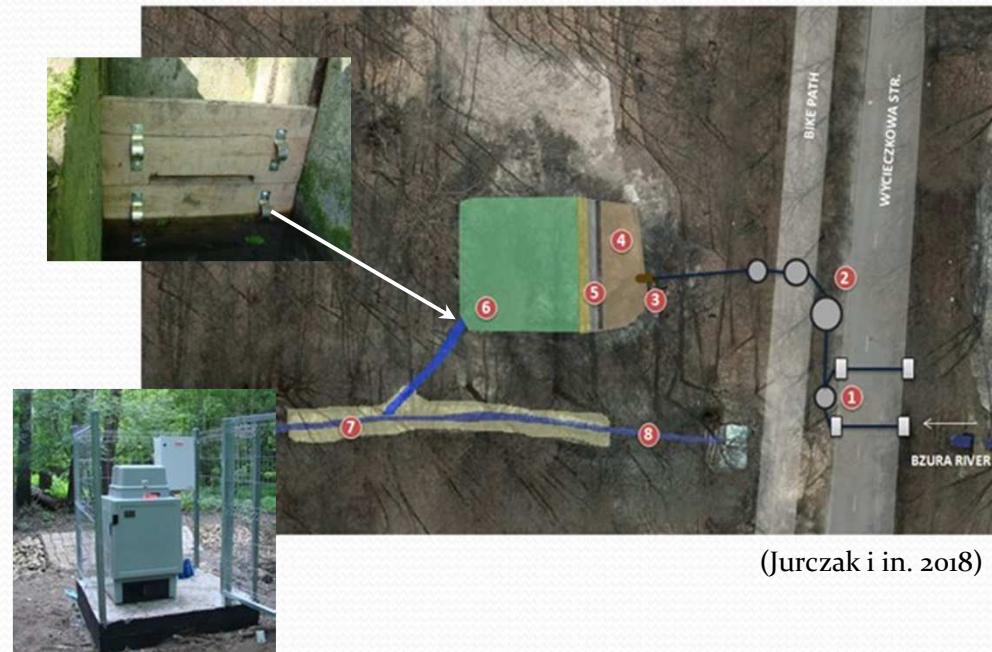
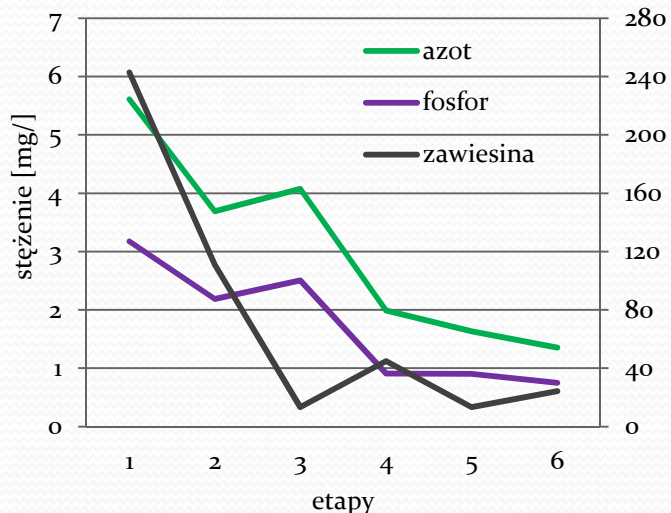
- 1) ulica (kratki zbierające wody z ulicy),
- 2) podziemny system osadników i separatorów,
- 3) dopływ podczyszczonych wód do SSSB,
- 4) strefa sedymentacji SSSB (część 1, powyżej bariery filtracyjnej),
- 5) strefa sedymentacji SSSB (część 2, poniżej bariery filtracyjnej),
- 6) strefa biofiltracyjna SSSB,
- 7) rzeka Bzura poniżej SSSB,
- 8) rzeka Bzura powyżej SSSB



## Konstrukcja systemu hybrydowego dla retencjonowania wód opadowych – Arturówek, Łódź

Średnie stężenia [mg/l] substancji biogenicznych i zawiesiny na  
wybranych stanowiskach (Jurczak i in. 2018)

etap	TSS [mg/l] SD	TN [mg/l] SD	TP [mg/l] SD	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l] SD	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> [mg/l] SD	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [mg/l] SD	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> [mg/l] SD
1.	243,0 ±0,0	5,61 ±2,19	3,18 ±1,90	1,57 ±1,22	0,05 ±0,08	0,49 ±0,50	0,60 ±0,62
6.	24,2 ±35,1	1,35 ±0,97	0,75 ±1,00	0,41 ±0,60	0,02 ±0,02	0,22 ±0,18	0,32 ±0,19
7.	15,9 ±21,1	1,4 ±0,57	0,81 ±0,62	0,36 ±0,28	0,02 ±0,02	0,28 ±0,22	0,33 ±0,20
8.	7,7 ±7,3	1,63 ±0,77	0,74 ±0,54	0,15 ±0,18	0,02 ±0,03	0,41 ±0,49	0,33 ±0,24



(Jurczak i in. 2018)

System hybrydowy usuwa  
**90,0% zawiesiny, 75,9% TN, 76,4% TP** oraz od **47,5% do 74,2% innych substancji biogenicznych** transportowanych wraz z wodami opadowymi z ulicy Wycieczkowej do rzeki Bzury  
 (Jurczak i in. 2018).

Wydajność systemu hybrydowego w eliminacji substancji biogenicznych i zawiesiny transportowanych z wodami opadowymi z ulicy do rzeki



Narodowe Centrum  
Badań i Rozwoju



Narodowy Fundusz  
Ochrony Środowiska  
i Gospodarki Wodnej

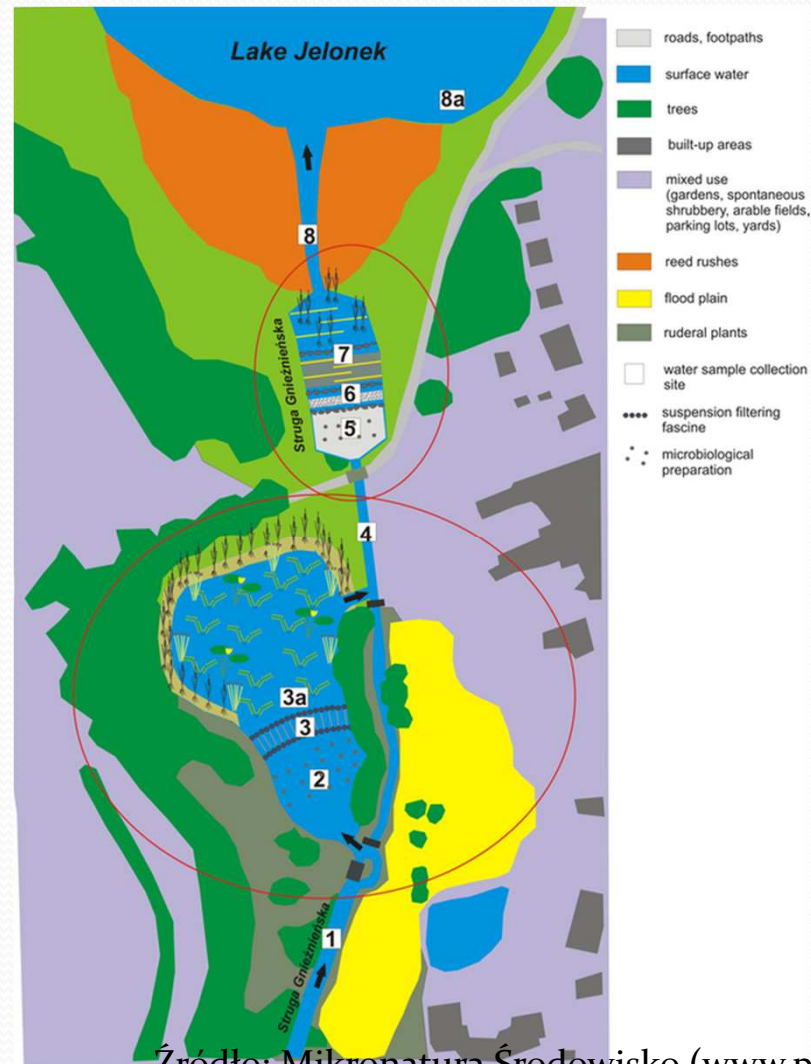
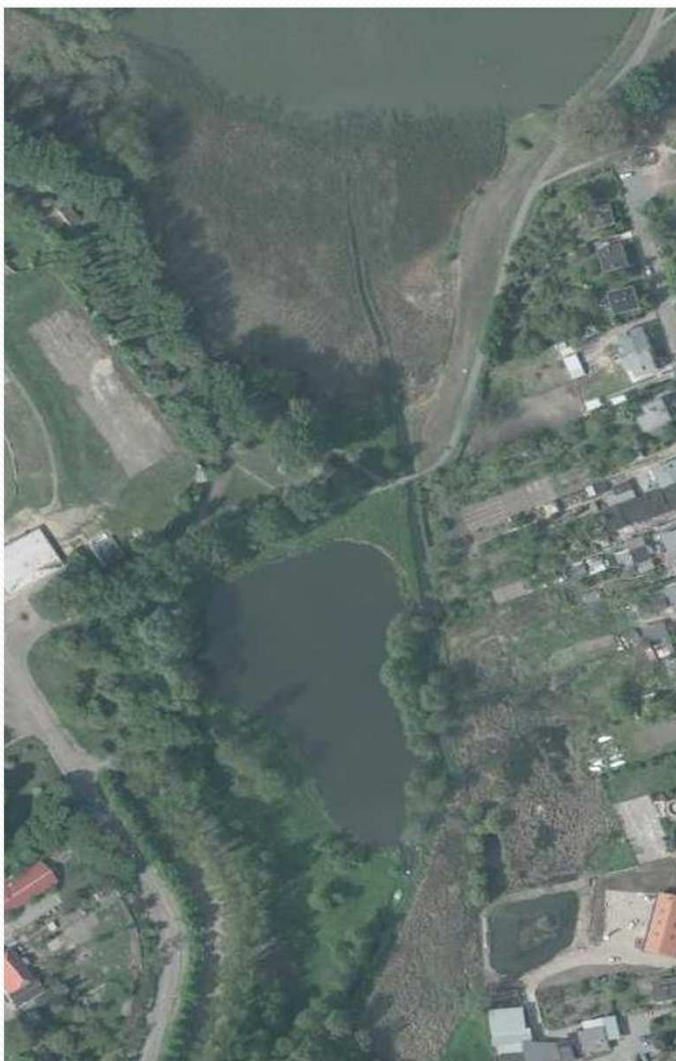


GEKON2/03/267948/21/2016



MIKRONATURA  
ŚRODOWISKO

## Sekwencyjny system na Strudze Gnieźnieńskiej w Gnieźnie



Źródło: Mikronatura Środowisko ([www.proenv.pl](http://www.proenv.pl))



Narodowe Centrum  
Badań i Rozwoju



Narodowy Fundusz  
Ochrony Środowiska  
i Gospodarki Wodnej

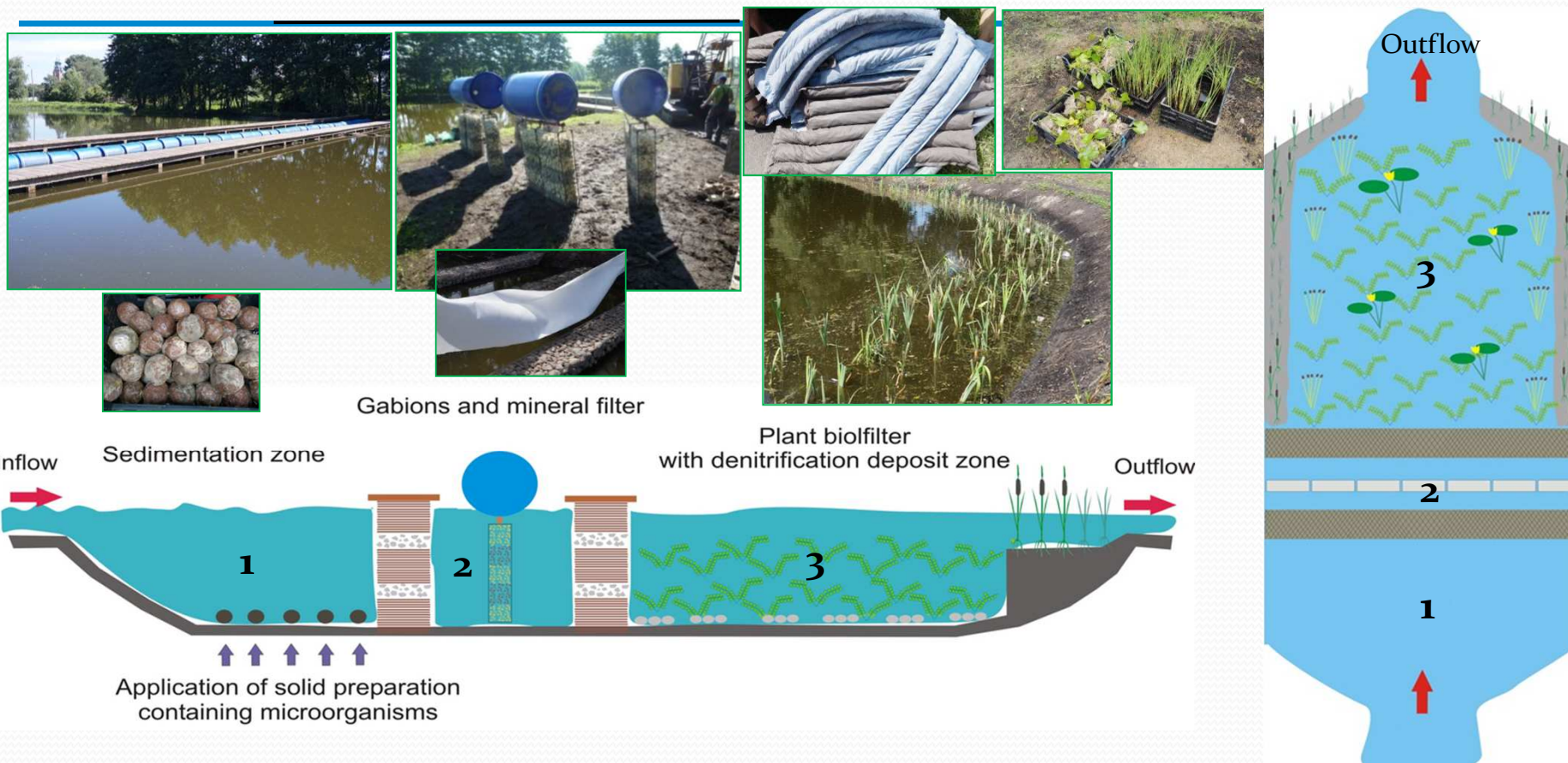


GEKON2/03/267948/21/2016



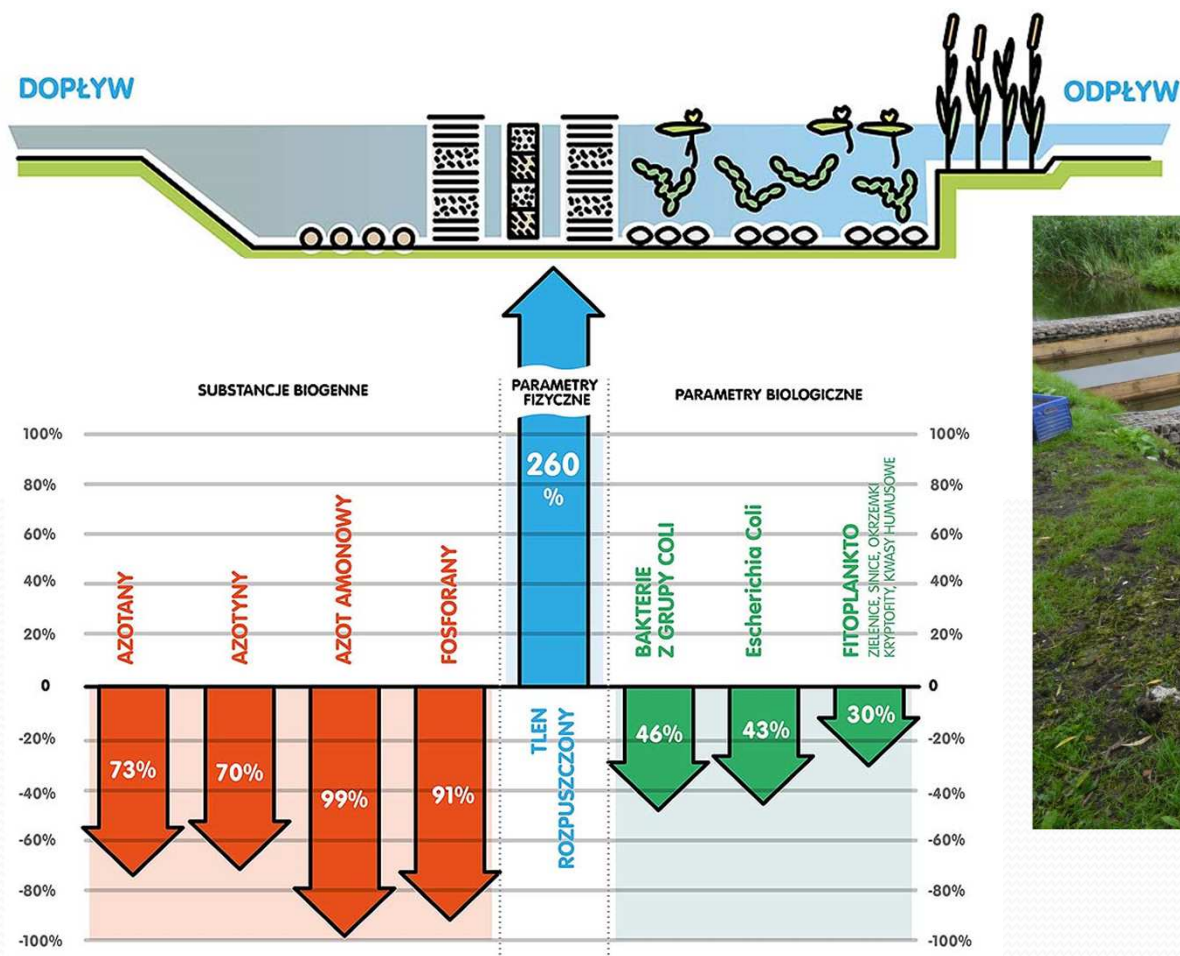
MIKRONATURA  
ŚRODOWISKO

## Sekwencyjny system na Strudze Gnieźnieńskiej w Gnieźnie



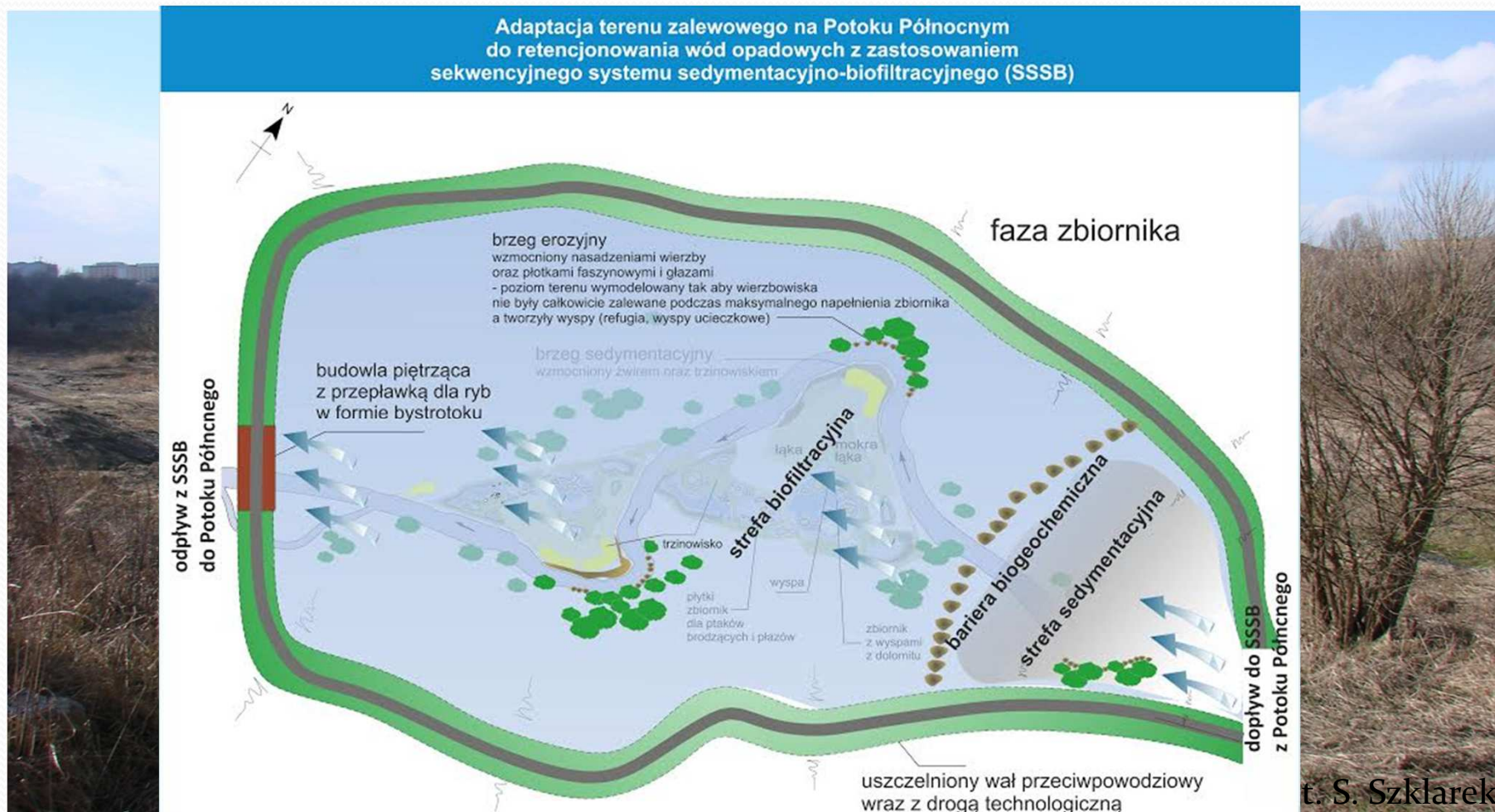
Źródło: Mikronatura Środowisko ([www.proenv.pl](http://www.proenv.pl)), Fot. J. Kupiec

## Sekwencyjny system na Strudze Gnieźnieńskiej w Gnieźnie



(Fot. S.Szklarek)

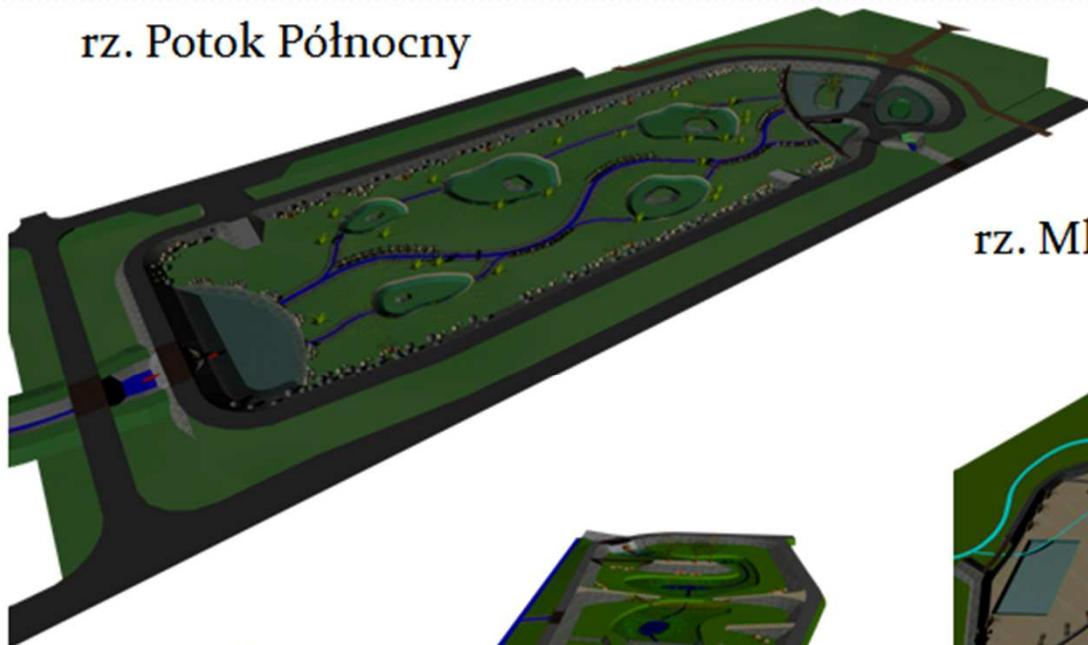
## Adaptacja terenu zalewowego w sekwencyjny system sedimentacyjno-biofiltracyjny (SSSB) – Potok Północny km 3+084 – 3+334, Radom - pomiędzy ulicą Olsztyńską, a linią kolejową nr 8



Wielofunkcyjny obszar będzie w stanie zatrzymać w czasie ok. 20 min. wielkości przepływu  $Q_1$  wynoszącego  $9,74 \text{ m}^3/\text{s}$ . Głębokość powodziowa systemu będzie wynosić ok.  $0,5 \text{ m}$ , a zdolność retencyjna ok.  $11\ 000 \text{ m}^3$ .

## Sekwencyjne systemy w projekcie Life RadomKlima

rz. Potok Północny



rz. Mleczna



rz. Cerekwianka



*środowisko* 

Źródło: Biuro Projektowania i Realizacji  
Inwestycji Ekologicznych „Środowisko”  
na zlecenie Uniwersytetu Łódzkiego

## Więcej informacji:

- **Szklarek, I.** Wagner, T. Jurczak, M. Zalewski. **2018.** *Sequential Sedimentation-Biofiltration System for the purification of a small urban river (the Sokolowka, Lodz) supplied by stormwater.* Journal of Environmental Management 205: 201-208.
- Jurczak, I. Wagner, Z. Kaczkowski, **S. Szklarek**, M. Zalewski. **2018.** *Hybrid system for the purification of street stormwater runoff supplying urban recreation reservoirs.* Ecological Engineering 110: 67-77.
- Strona projektu Life EH-REK: [www.arturowek.pl](http://www.arturowek.pl)
- Strona projektu Life RadomKlima: [life.radom.pl](http://life.radom.pl)

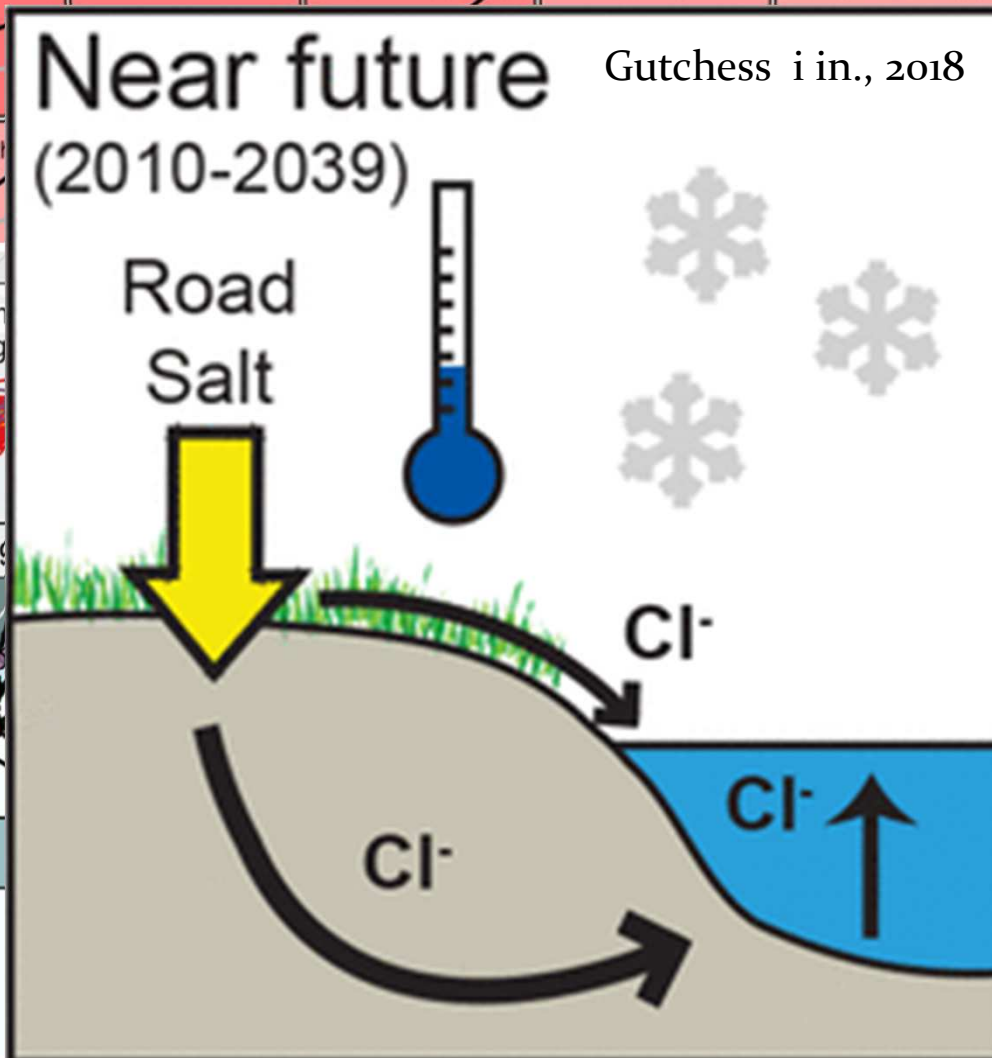
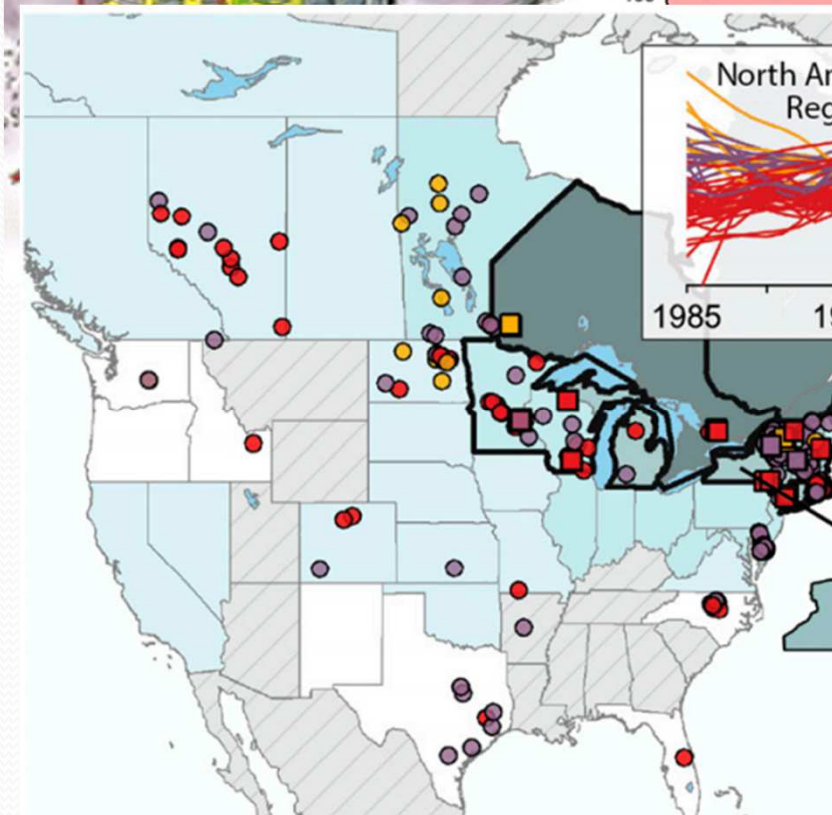
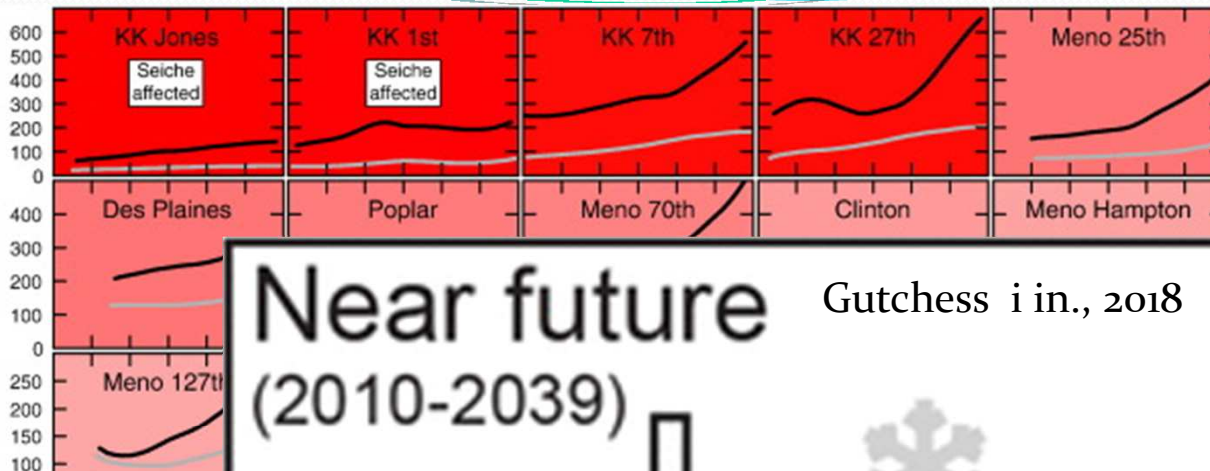
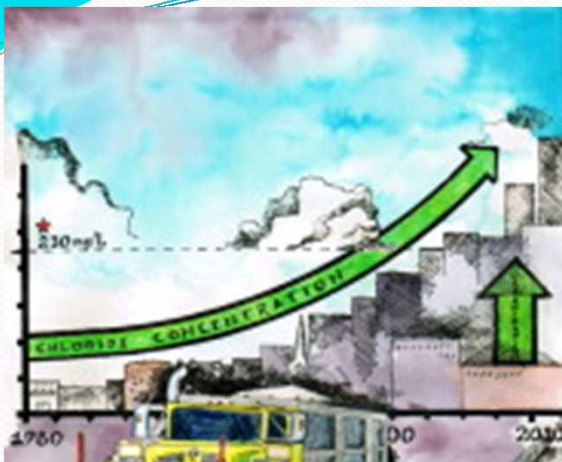
oraz



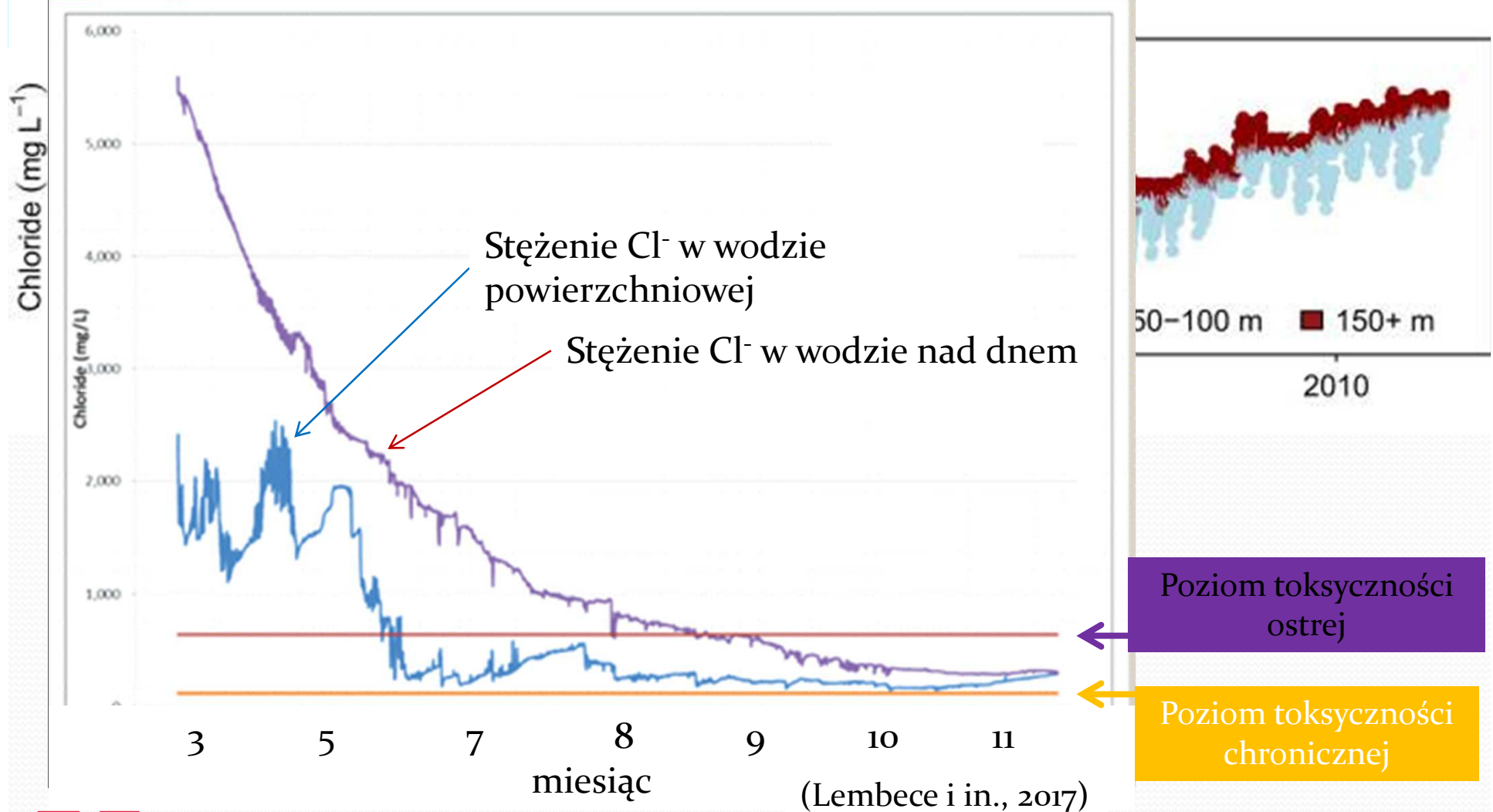
**ŚWIAT WODY**

*Blog o najcenniejszym zasobie naszej planety*

# Aktualny stan wiedzy o chlorkach



# Aktualny stan wiedzy o chlorkach



NARODOWE CENTRUM NAUKI

Wpływ zimowego zanieczyszczenia solą drogową na sukces wylęgu zooplanktonu z jaj przetrwalnikowych. (SONATINA2 nr projektu 2018/28/C/NZ8/00235)



# Dziękuję za uwagę

*Zespół pracujący nad rozwojem systemów sekwencyjnych do wód powierzchniowych*



**Prof. Maciej Zalewski**



**Prof. Joanna  
Mankiewicz-Boczek**



**Dr Sebastian Szklarek**



European Regional  
Centre for Ecohydrology  
Under the auspices  
of UNESCO



POLISH ACADEMY OF SCIENCES



**Dr Tomasz Jurczak**



**Dr Iwona Wagner**



**Dr Agnieszka Bednarek**



UNIVERSITY  
OF LODZ



FACULTY OF BIOLOGY  
AND ENVIRONMENTAL  
PROTECTION  
University of Lodz