

# Technologia oczyszczalni ścieków w Zgierzu – zastosowanie modeli ASM do sterowania procesem

Grzegorz Kacprzak  
Rafał Biernacki

# Plan prezentacji

- **Oczyszczalnia ścieków w Zgierzu**
- **Charakterystyka ścieków dopływających**
- **Modele osadu czynnego (ASM) i ich zastosowanie**
- **Założenia do modelowania i ich weryfikacja**
- **Parametry kalibrowane**
- **Wyniki symulacji pracy oczyszczalni**
- **Korzyści z zastosowania modeli ASM**

# Kalendarium realizacji oczyszczalni

- **grudzień 1992** - podpisanie umowy pomiędzy Miastem Zgierz a ZPB „Boruta” S.A. o wspólnej realizacji inwestycji
- **kwiecień 1993** - zawarcie umowy z wykonawcą na zaprojektowanie i wykonanie oczyszczalni
- **lipiec 1994** - rozpoczęcie robót budowlanych
- **grudzień 1995** - rozruch technologiczny ciągu ścieków przemysłowych
- **grudzień 1996** - rozruch technologiczny ciągu ścieków miejskich i zmieszanych
- **listopad 1997** - rozpoczęcie procesu odbiorowego i eksploatacji przez Zgierską Spółkę Wodną
- **wrzesień 1998** - zakończenie procesu inwestycyjnego

# Kalendarium modernizacji oczyszczalni



- **grudzień 2005** – Decyzja Komisji Europejskiej nr K(2005)5771 o przyznaniu dofinansowania ze środków Funduszu Spójności na Projekt „Kanalizacja sanitarna miasta Zgierz wraz z modernizacją oczyszczalni ścieków”
- **lipiec 2009** – podpisanie umowy z wykonawcą na modernizację oczyszczalni
- **listopad 2010** – zakończenie procesu modernizacji

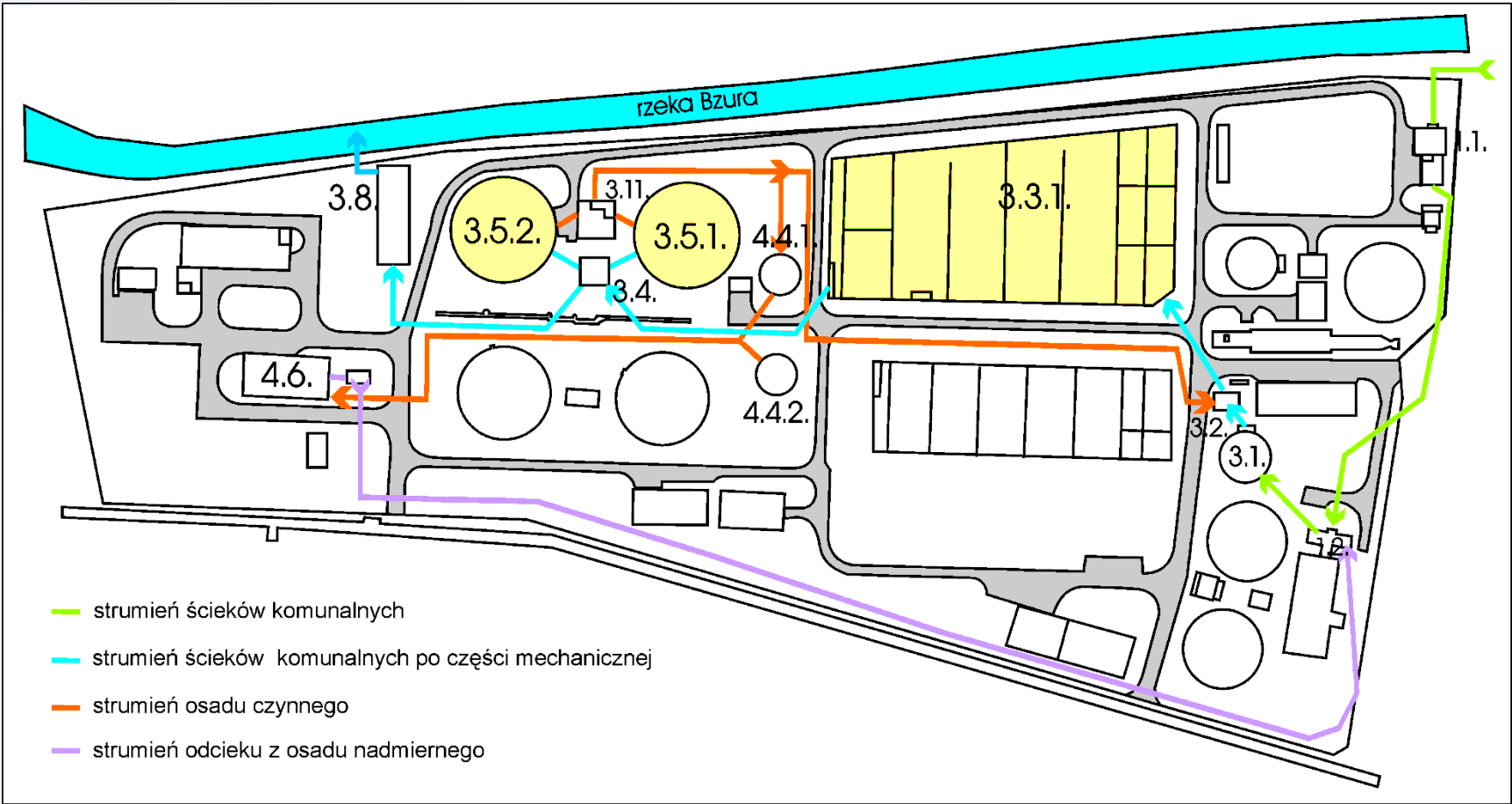


# Oczyszczalnia ścieków w Zgierzu

- oczyszczalnia mechaniczno - biologiczna
- ilość oczyszczanych ścieków: 10 000 m<sup>3</sup>/dobę
- obciążenie oczyszczalni: 123 000 RLM
- układ biologiczny: trój - lub pięciostopniowy system Bardenpho

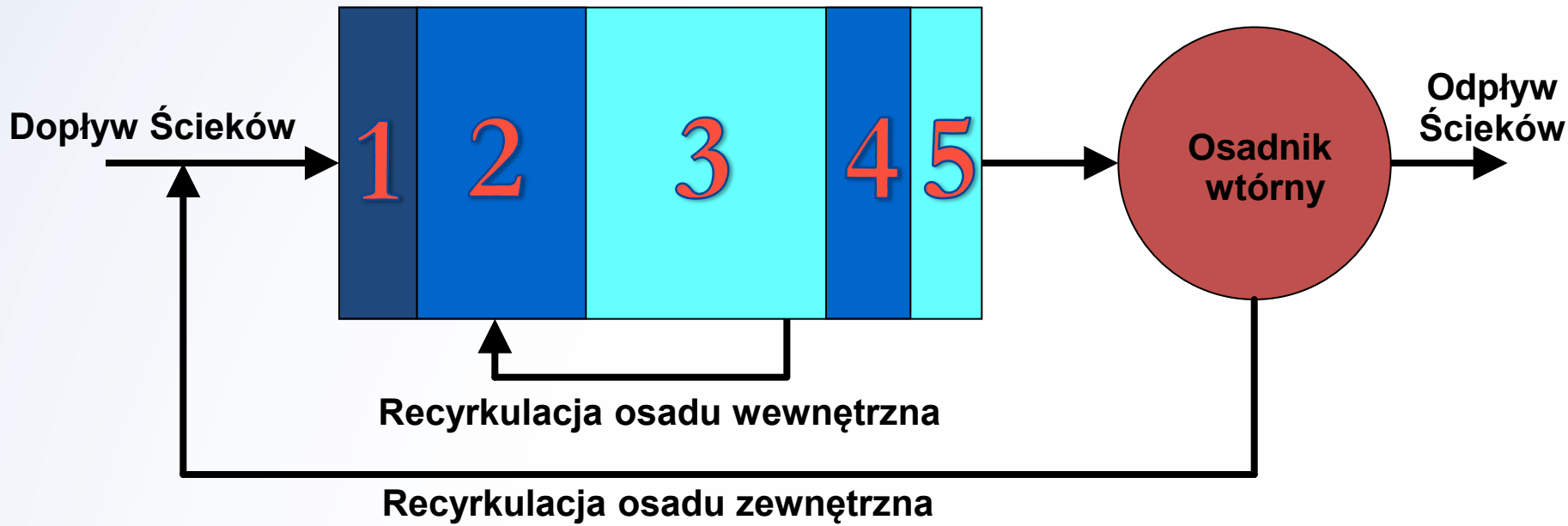


# Oczyszczalnia ścieków w Zgierzu



**Schemat rozmieszczenia głównych obiektów oczyszczalni ścieków w Zgierzu**

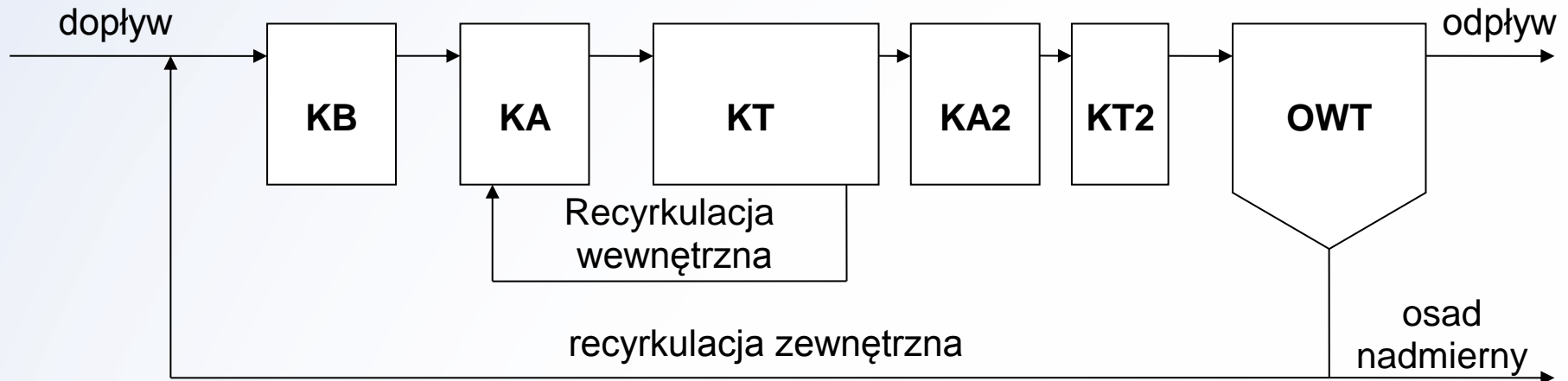
# Układ BARDENPHO



- Strefa Anaerobowa
- Strefa Anoksyliczna
- Strefa Aerobowa



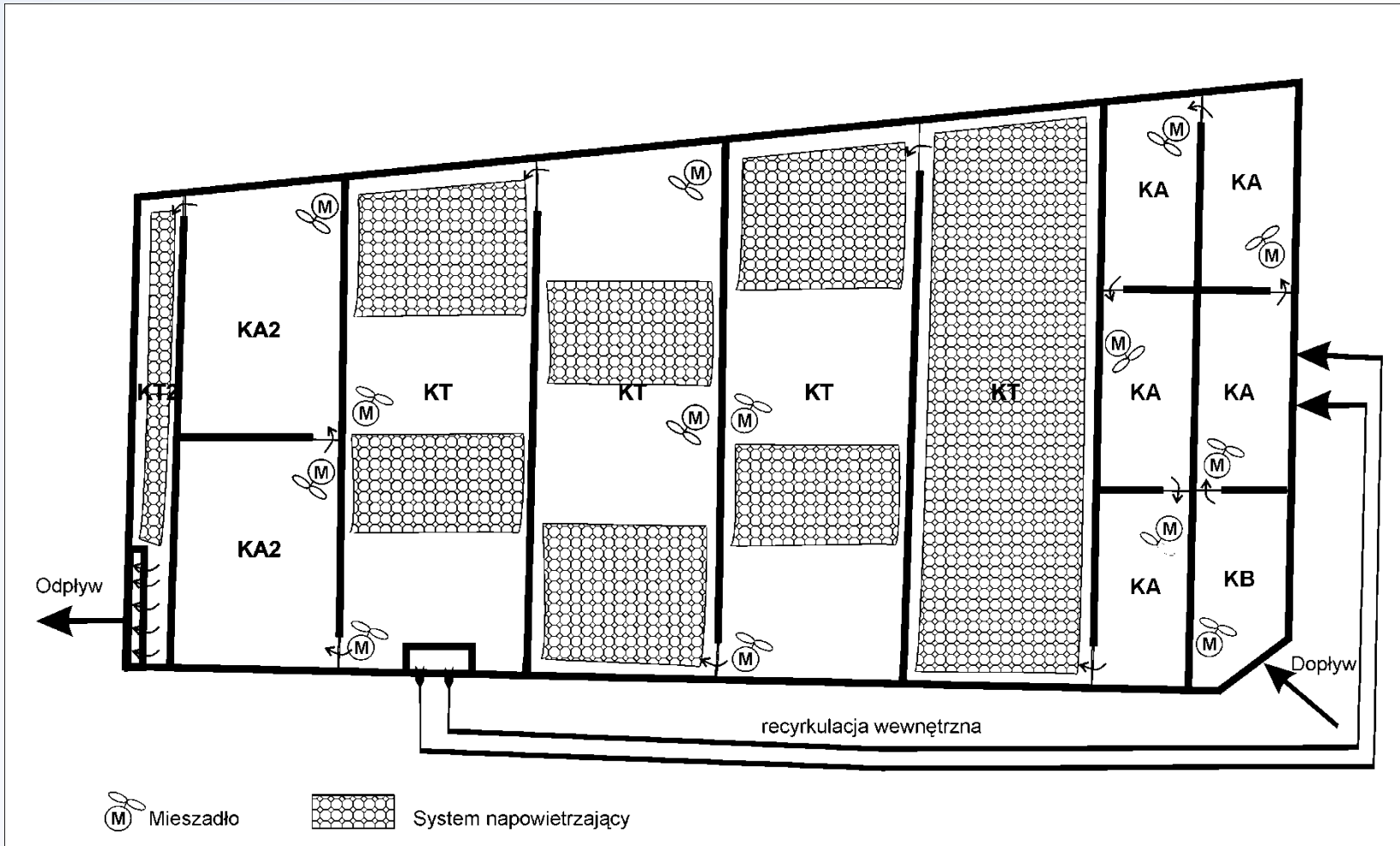
# Układ BARDENPHO 5-stopniowe



- KB – komora beztlenowa (anaerobowa) defosfatacyjna - 857 m<sup>3</sup>
- KA – komora niedotleniona (anoksydacyjna) denitryfikacyjna - 3 536 m<sup>3</sup>
- KT – komora tlenowa (aerobowa) nityfikacyjna - 15 853 m<sup>3</sup>
- KA2 – druga komora niedotleniona (anoksydacyjna) - 3 118 m<sup>3</sup>
- KT2 – druga komora tlenowa (aerobowa) - 758 m<sup>3</sup>
- Stężenie tlenu w komorze tlenowej (KT) - 3 mg O<sub>2</sub>/L
- Stężenie tlenu w komorze tlenowej (KT2) - 5 mg O<sub>2</sub>/L
- Stopień recyrkulacji wewnętrznej od 500 do 700%
- Stopień recyrkulacji zewnętrznej - 100%
- Wiek osadu - 23 dni



# Reaktor biologiczny



Rozmieszczenie systemu napowietrzającego i mieszadeł w reaktorze biologicznym oczyszczalni ścieków w Zgierzu po modernizacji (pięciostopniowy system Bardenpho) 9

# Charakterystyka ścieków

Ilości ścieków komunalnych dopływających do oczyszczalni z uwzględnieniem ścieków przemysłowych oraz ścieków dowiezionych wozami asenizacyjnymi w latach 2009-2013

Rok	Ilość ścieków komunalnych dopływająca do oczyszczalni [m <sup>3</sup> ]	Ilość ścieków przemysłowych [m <sup>3</sup> ]	Ilość ścieków dowiezionych wozami asenizacyjnymi [m <sup>3</sup> ]
2009	3 839 886	184 007	233 416
2010	4 060 833	210 004	235 391
2011	3 258 192	169 500	228 168
2012	3 062 533	213 783	217 083
2013	3 002 939	155 415	197 575
<b>Średnia</b>	<b>3 444 877</b>	<b>186 542</b>	<b>222 327</b>
<b>MIN</b>	<b>3 002 939</b>	<b>155 415</b>	<b>197 575</b>
<b>MAX</b>	<b>4 060 833</b>	<b>213 783</b>	<b>235 391</b>

# Charakterystyka ścieków

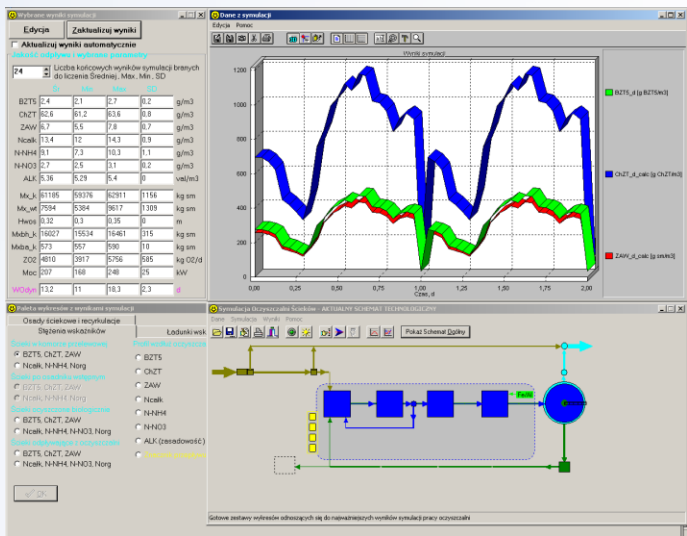
**Średnie wartości podstawowych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach dopływających dla poszczególnych miesięcy w 2013 roku**

miesiąc	ChZT [mgO <sub>2</sub> /L]	BZT <sub>5</sub> [mgO <sub>2</sub> /L]	Azot ogólny [mgN/L]	Fosfor [mgP/L]	Zawiesiny ogólne [mg/L]
Styczeń	1164	516	70	7,7	489
Luty	1171	515	68	8,4	381
Marzec	1123	522	73	8	394
Kwiecień	1015	400	63	6,4	389
Maj	946	440	64	7,8	569
Czerwiec	923	346	58	6,5	315
Lipiec	1535	603	66	7,4	504
Sierpień	1185	499	72	7,2	456
Wrzesień	1151	542	64	8,1	632
Październik	1297	546	65	8,7	568
Listopad	1285	603	74	11,5	650
Grudzień	1213	685	74	12	717
<b>Średnia</b>	<b>1167</b>	<b>518</b>	<b>68</b>	<b>8</b>	<b>505</b>
<b>Projektowa</b>	<b>432</b>	<b>216</b>	<b>41</b>	<b>10</b>	<b>144</b>

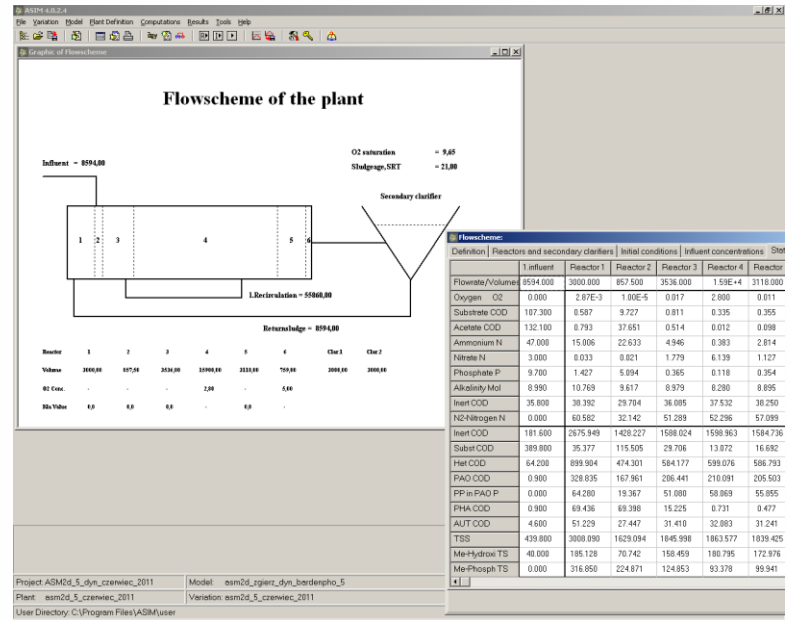


# Programy komputerowe

## EXPERT OSADU CZYNNEGO wg wytycznej ATV-DVWK – A 131P WERSJA 1.27P



### SymOS



## ASIM (Activated Sludge Simulation Program) wersja 4.0.2.4



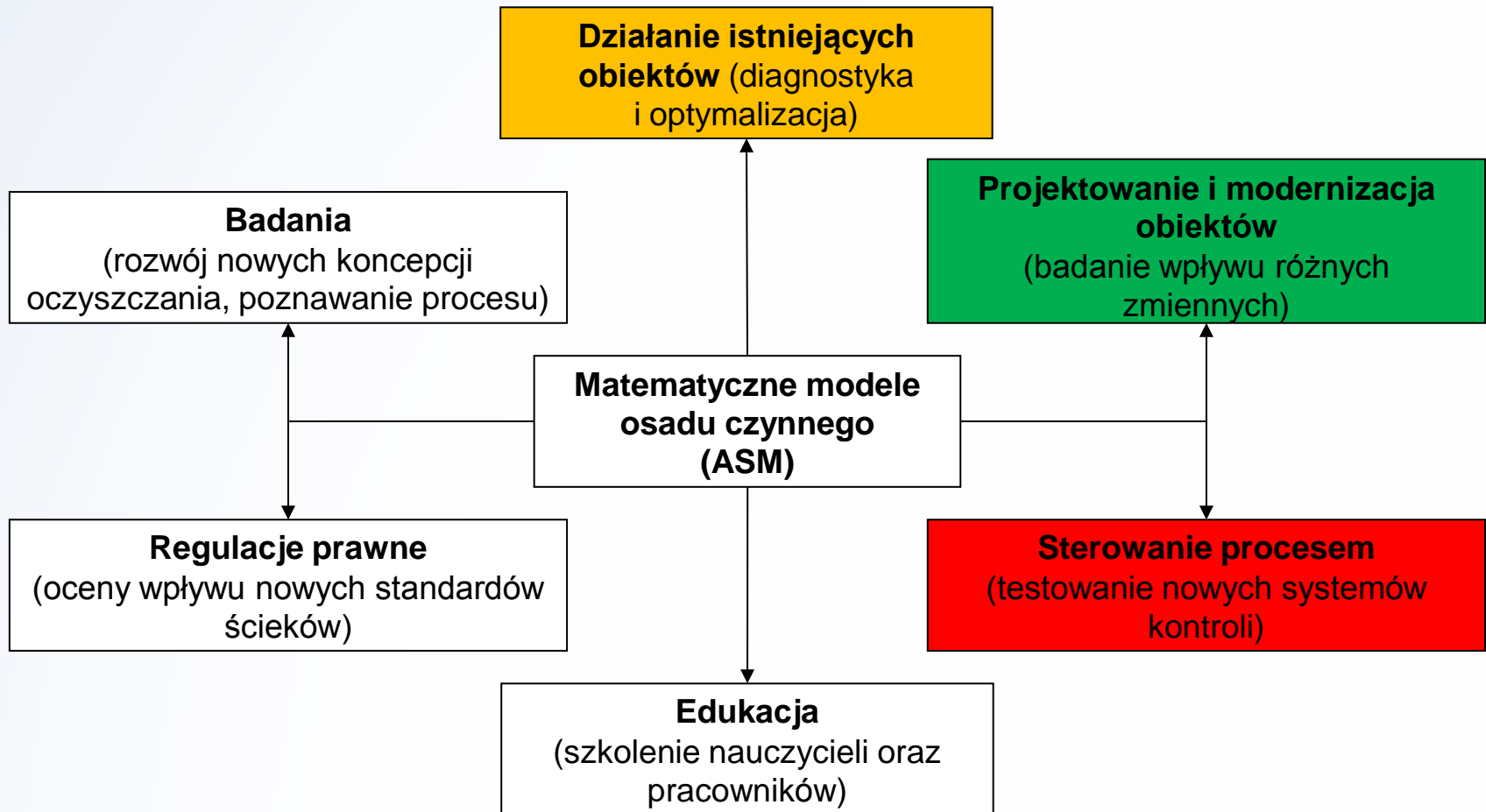
# Modele osadu czynnego (ASM)

Modele ASM  
opracowane  
przez  
IWA  
(International  
Water  
Association)

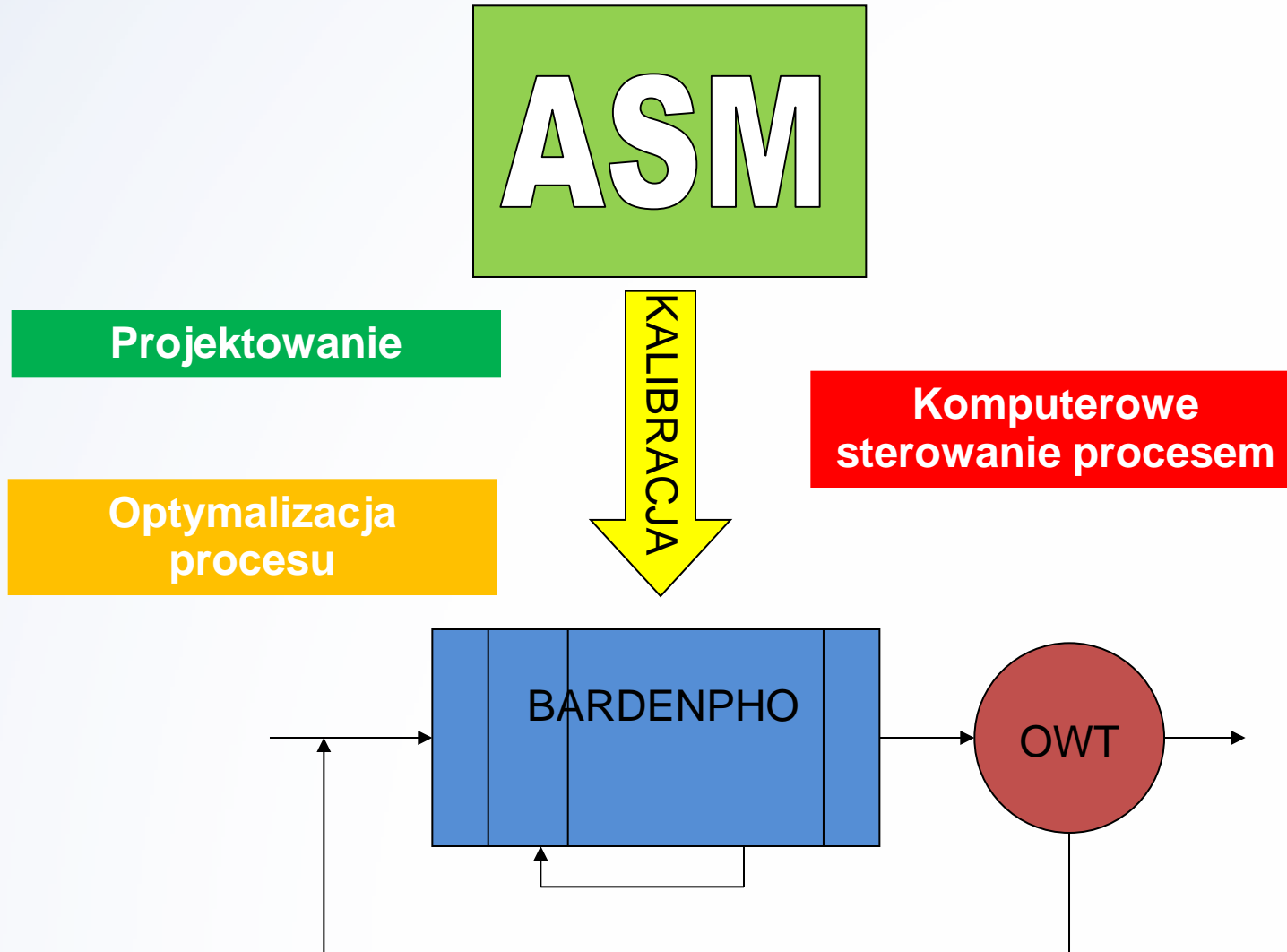
- ASM1 → Usuwanie związków węgla i azotu (1987)
- ASM2 → Usuwanie związków węgla, azotu i fosforu (1995)
- ASM2d → Usuwanie związków węgla, azotu i fosforu. Podział PAO na dwie frakcje (1999)
- ASM3 → Usuwanie związków węgla i azotu (1999)
- ASM3P → Usuwanie związków węgla, azotu i fosforu (2001)

		$S_{O_2}$	$S_F$	$S_A$	$S_{NH_4}$	$S_{NO_3}$	$S_{PO_4}$	$S_I$
1	Aerobic hydrolysis		$1-f_{SI}$		$-((1-f_{SI}) * i_{N,SF} + f_{SI} * i_{N,SI} - i_{N,XS})$		$-((1-f_{SI}) * i_{P,SF} + f_{SI} * i_{P,SI} - i_{P,XS})$	$f_{SI}$
2	Anoxic hydrolysis		$1-f_{SI}$		$-((1-f_{SI}) * i_{N,SF} + f_{SI} * i_{N,SI} - i_{N,XS})$		$-((1-f_{SI}) * i_{P,SF} + f_{SI} * i_{P,SI} - i_{P,XS})$	$f_{SI}$
3	Anaerobic hydrolysis		$1-f_{SI}$		$-((1-f_{SI}) * i_{N,SF} + f_{SI} * i_{N,SI} - i_{N,XS})$		$-((1-f_{SI}) * i_{P,SF} + f_{SI} * i_{P,SI} - i_{P,XS})$	$f_{SI}$

# Zastosowanie modeli ASM



# Zastosowanie modeli ASM



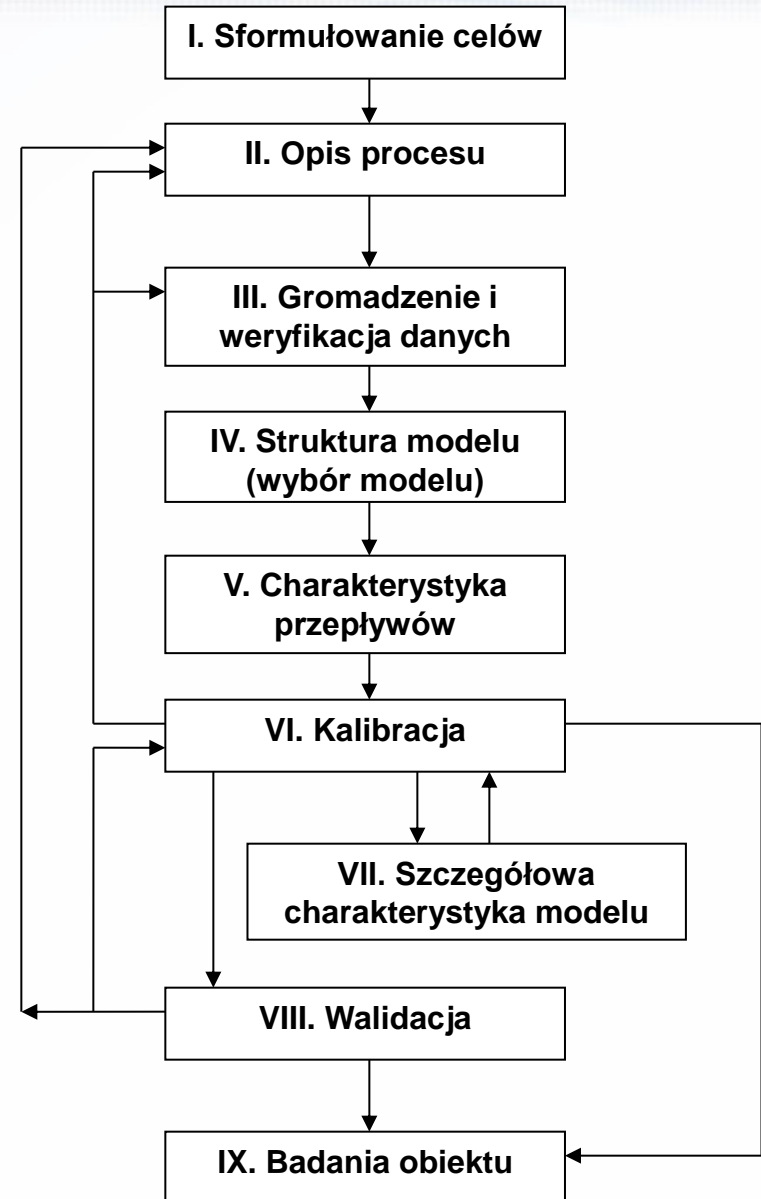
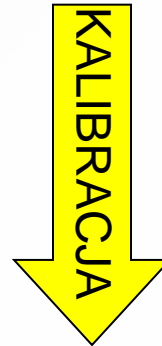
# Kalibracja

Protokół kalibracyjny

STOWA

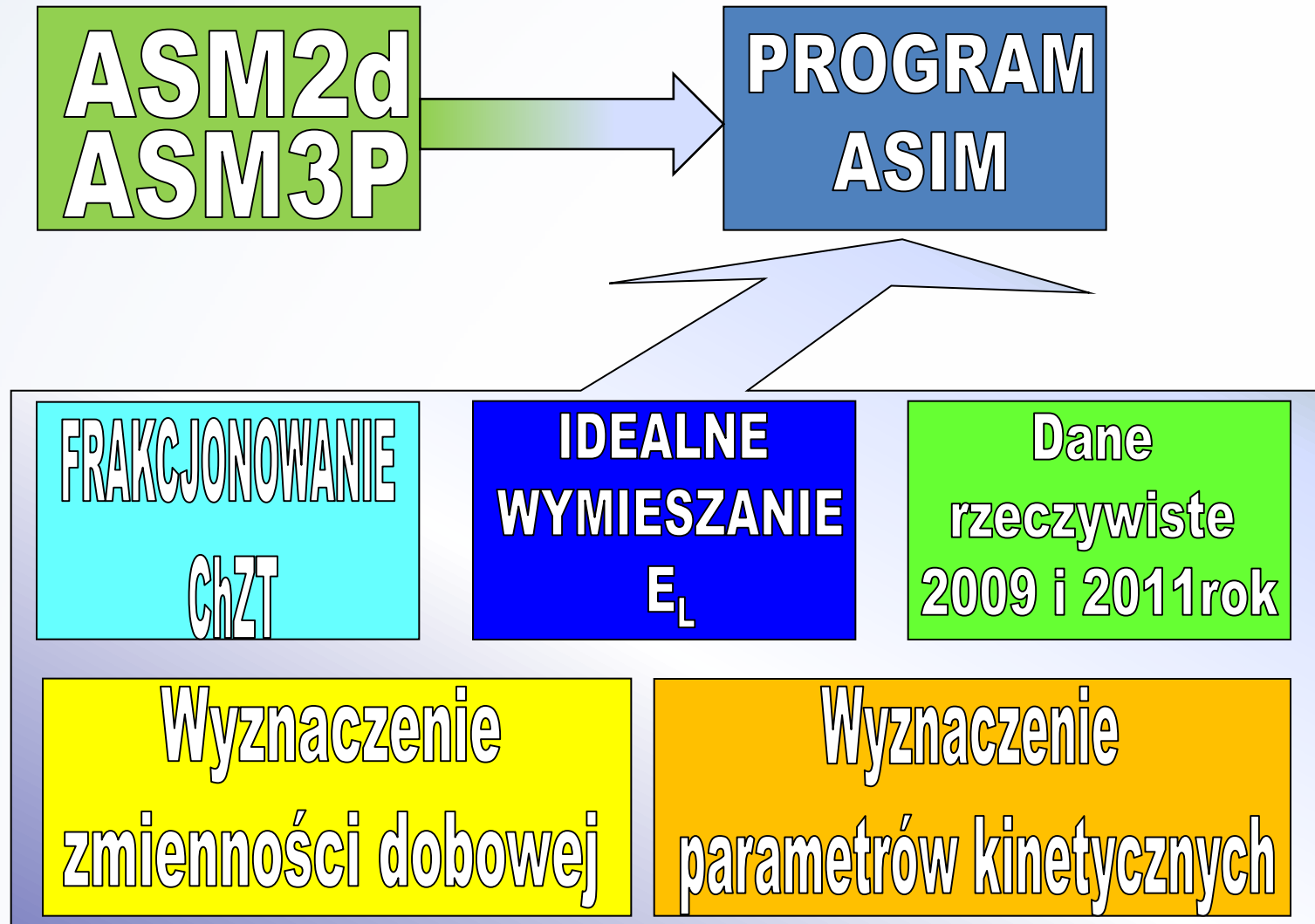
(Holenderska Fundacja  
Badań Wykorzystania Wody)

Przeznaczenie do  
zastosowania w  
obiektach skali  
technicznej i w praktyce  
eksploatacyjnej



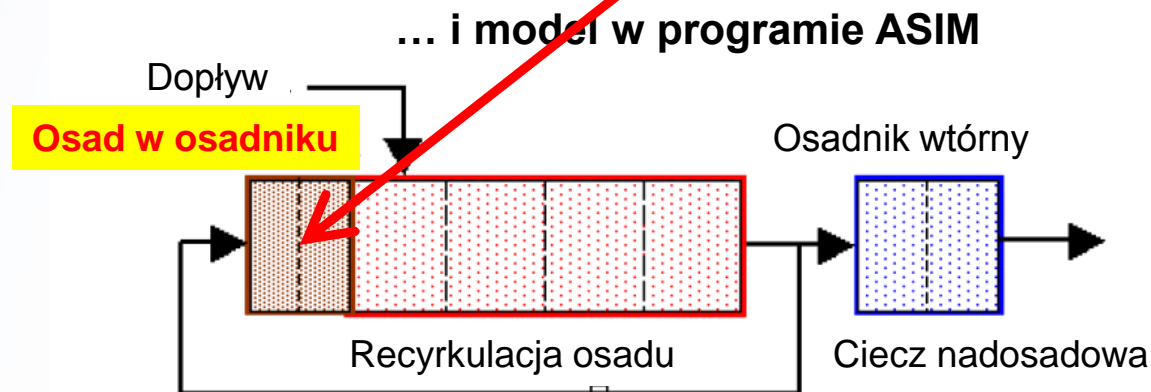
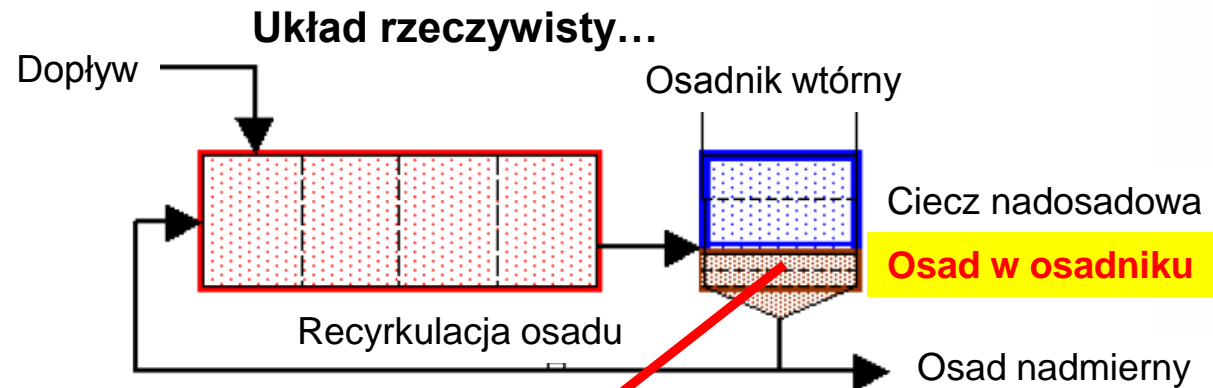


# Założenia do modelowania i ich weryfikacja



# Założenia do modelowania i ich weryfikacja

## PROGRAM ASIM



# Założenia do modelowania i ich weryfikacja

Udział frakcji ChZT w ściekach doptywających w oczyszczalni w Zgierzu wyznaczony eksperymentalnie

Wskaźnik		Udział [%]
frakcja $S_F$	rozpuszczone łatwo fermentujące	14,0
LKT (frakcja $S_A$ )	rozpuszczone produkty fermentacji (łatwo rozkładalne)	15,1
frakcja $S_I$	rozpuszczone niebiodegradowalne	3,8
frakcja $X_S$	zawiesina wolno rozkładalna	35,6
frakcja $X_I$	zawiesina niebiodegradowalna	23,8
frakcja $X_H$	bakterie heterotroficzne	7,0
frakcja $X_A$	bakterie nitryfikacyjne	0,5
frakcja $X_{PAO}$	bakterie akumulujące fosfor	0,1
frakcja $X_{PHA}$	związki organiczne zmagazynowane w PAO	0,1

Fracje ChZT wyznaczone zgodnie z Melcer H. (2003): Methods for wastewater characterization in activated sludge modeling. International Water Assn.

# Założenia do modelowania i ich weryfikacja

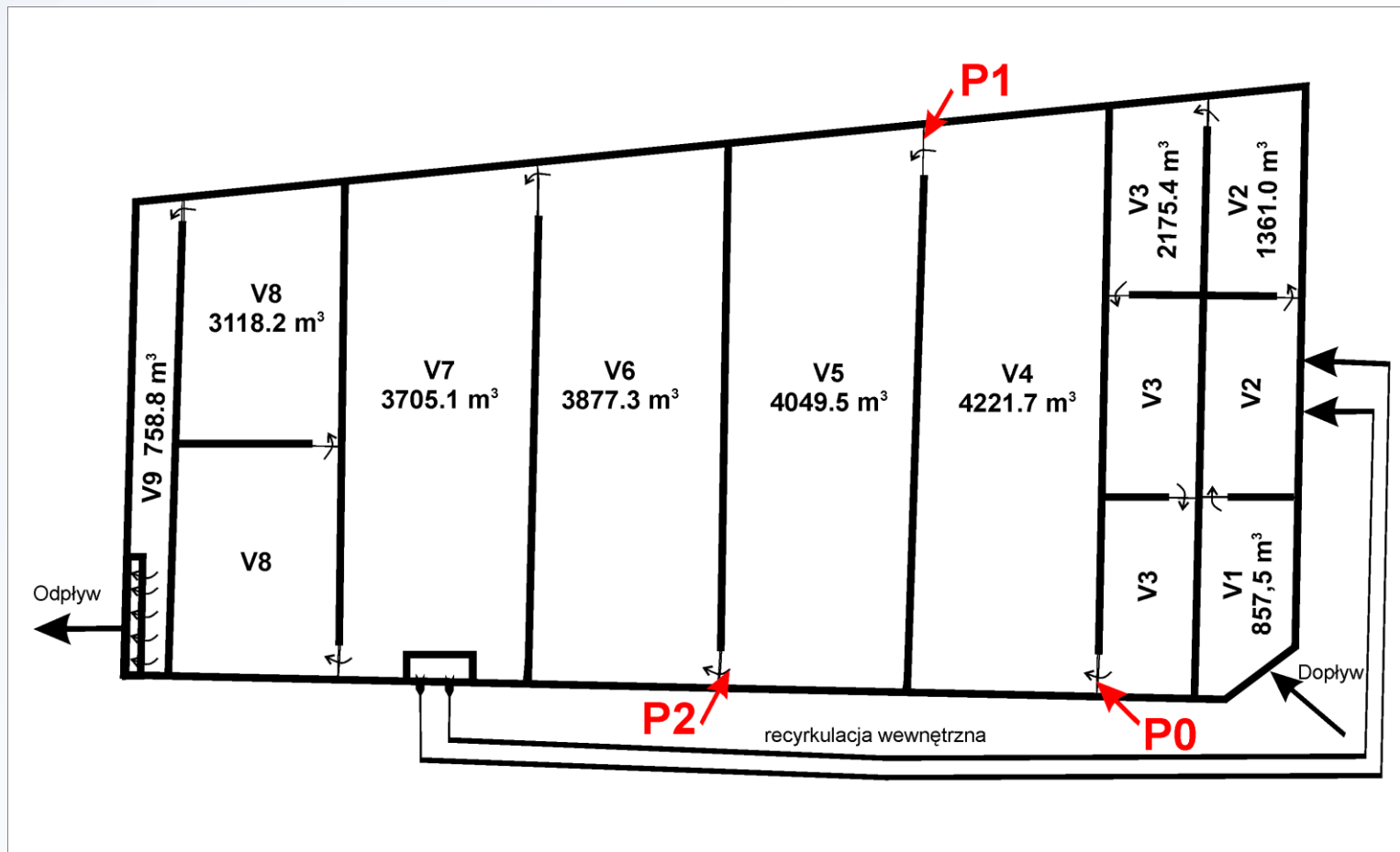
## Porównanie wartości wyznaczonych frakcji ChZT

Źródło danych →	Zgierz	Poznań	Gdańsk Wschód	Gdynia Dębogórze	ASM2d
<b>Wskaźnik</b>	Badania własne	[Dymaczewski, 2008]	[Mąkinia, 2006]	[Mąkinia, 2006]	[Henze, 1999]
ChZT <sub>całk.</sub> mg O <sub>2</sub> /L	774-920	455-477	546-609	570-598	260
frakcja S <sub>F</sub> (%)	9,7-20,6	15,0-19,2	3,9-5,8	6,1-12,2	11,5
LKT (frakcja S <sub>A</sub> ) (%)	14,4-15,7	15,2-27,7	9,1-10,8	11,1-15,8	7,8
frakcja S <sub>I</sub> (%)	2,4-5,2	6,5-8,0	5,4-6,8	2,3-2,7	11,5
frakcja X <sub>S</sub> (%)	28,6-42,5	37,1-40,9	23,1-27,6	19,3-21,2	48,1
frakcja X <sub>I</sub> (%)	19,8-29,4	4,0-12	11,5-13,1	13,3-14,4	9,6
frakcja X <sub>H</sub> (%)	7,0	4,3-9,3			11,5
frakcja X <sub>A</sub> (%)	0,5	0,5			
frakcja X <sub>PAO</sub> (%)	0,1	0,1			
frakcja X <sub>PHA</sub> (%)	0,1	0,1			



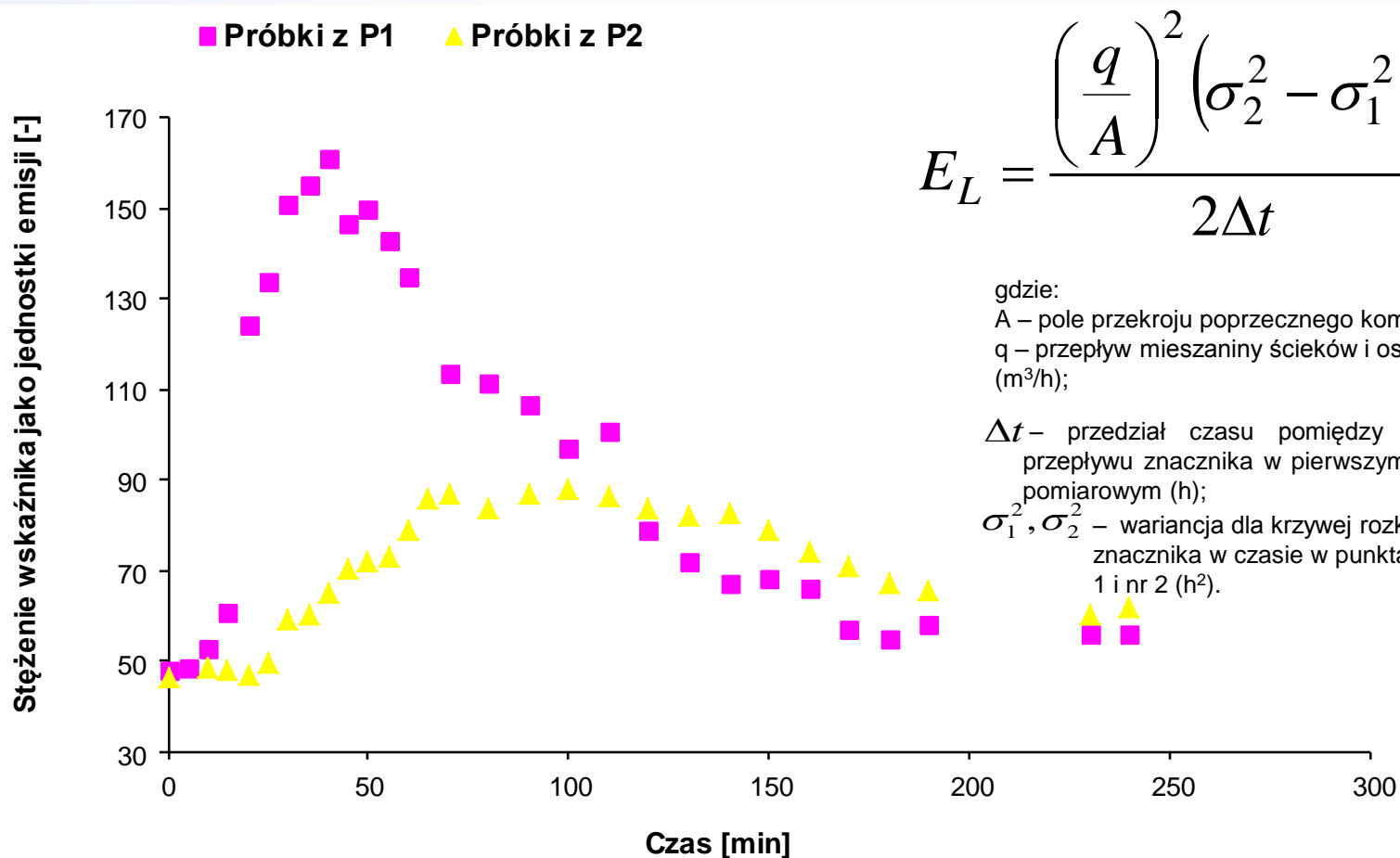
# Założenia do modelowania i ich weryfikacja

Wyznaczenie współczynnika dyspersji  
wzdłużnej  $E_L$  w oczyszczalni ścieków w Zgierzu



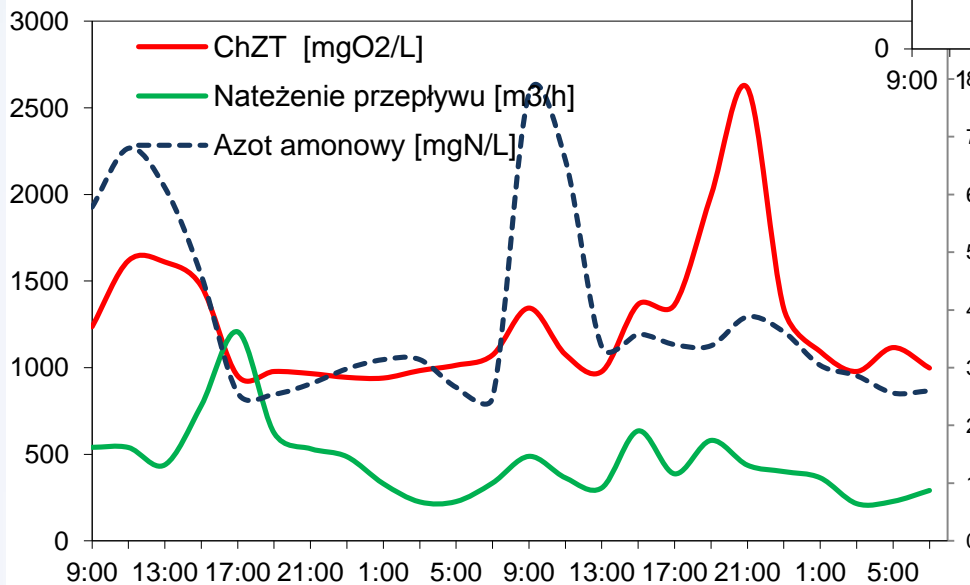
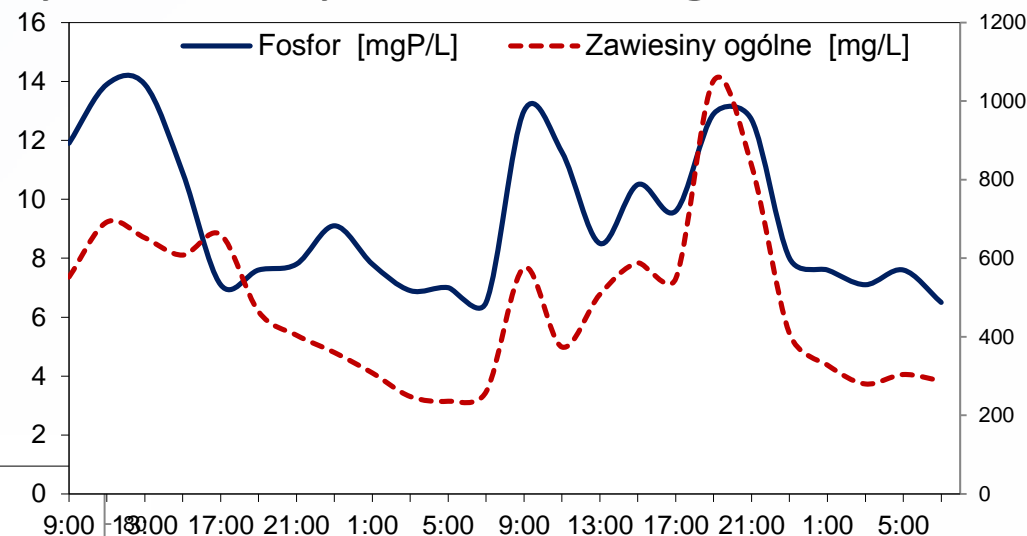
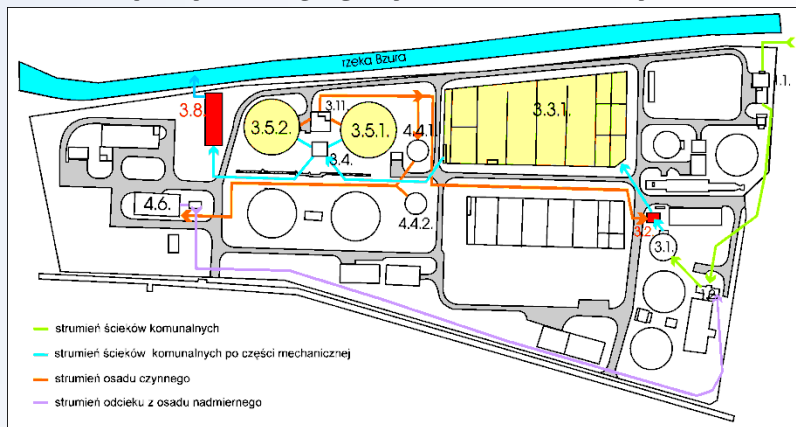
# Założenia do modelowania i ich weryfikacja

## Wyznaczenie współczynnika dyspersji wzdłużnej $E_L$ w oczyszczalni ścieków w Zgierzu



# Założenia do modelowania i ich weryfikacja

## Wyznaczenie zmienności dobowej ścieków doptywających i oczyszczonych w oczyszczalni w Zgierzu



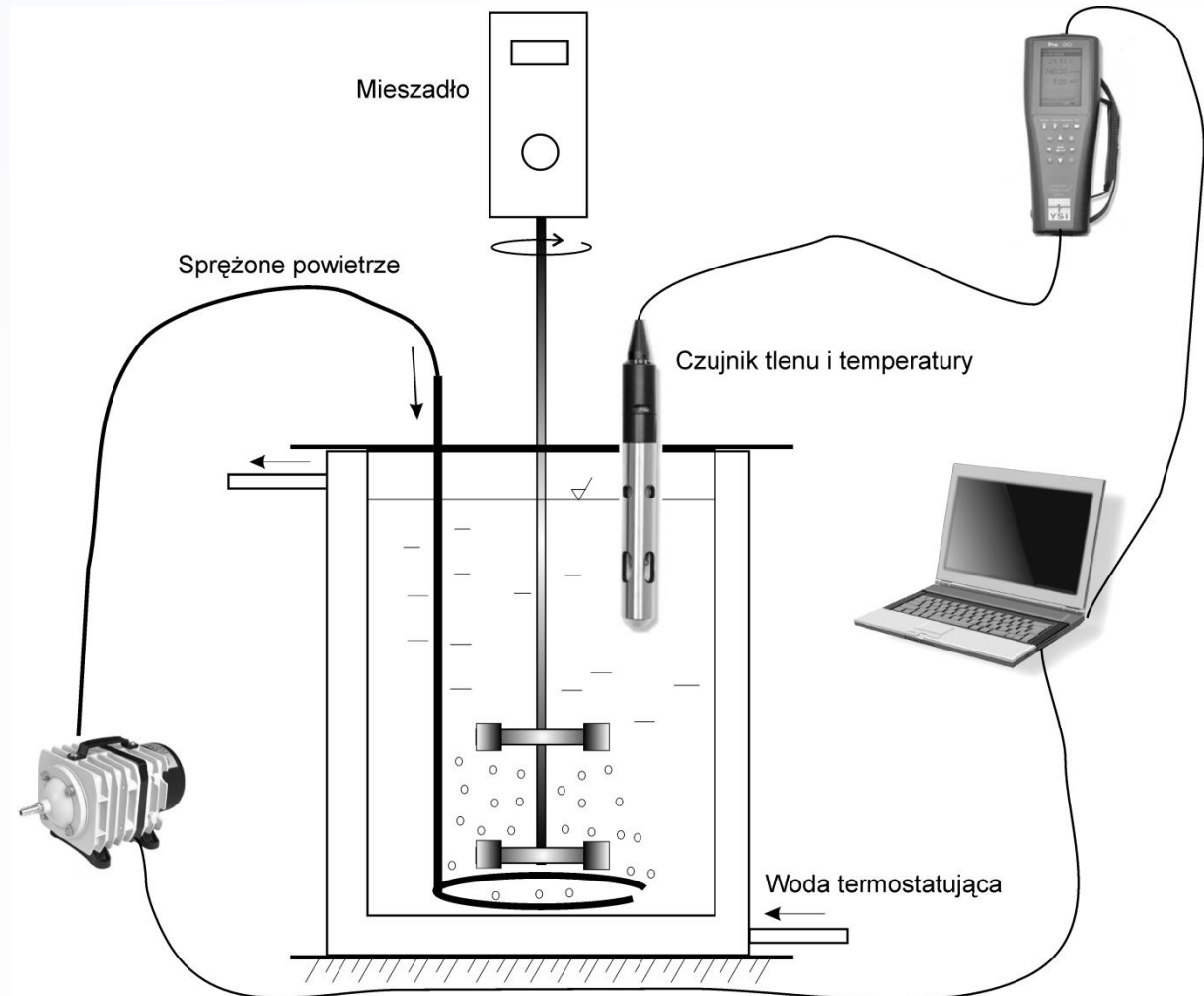
Zmienność wskaźników zanieczyszczeń w ściekach doptywających wraz z wartościami przepływu w okresie od 11 do 13 października 2011 roku

# Założenia do modelowania i ich weryfikacja

## Wyznaczanie wartości wybranych parametrów kinetycznych modeli

OUR

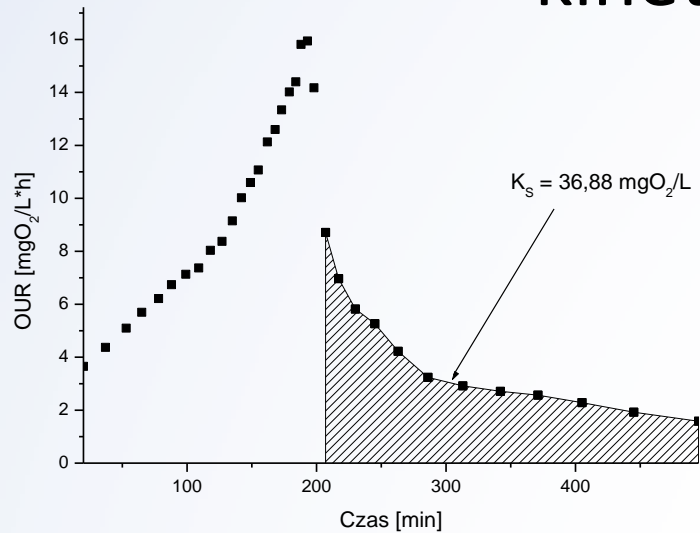
Parametry kinetyczne wyznaczano z wykorzystaniem testów szybkości zużycia tlenu (OUR) przeprowadzone zgodnie z procedurą opisaną przez Kappelera i Gujera (1992)



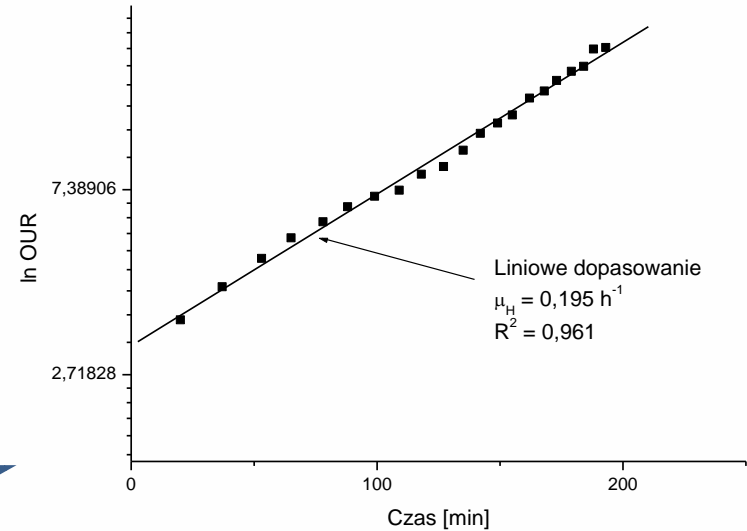


# Założenia do modelowania i ich weryfikacja

## Wyznaczanie wartości wybranych parametrów kinetycznych modeli



**OUR**



**Równanie Monoda:**

$$\mu = \mu_H \frac{S_S}{K_S + S_S}$$

- maksymalna właściwa szybkość wzrostu heterotrofów ( $\mu_H$ )
- stała nasycenia substratem dla biomasy heterotroficznej ( $K_S$ )
- współczynnik wymierania biomasy heterotroficznej ( $b_H$ )

# Założenia do modelowania i ich weryfikacja

Średnie wartości wyznaczonych parametrów kinetycznych oraz wartości oryginalne w modelach ASM2d i ASM3P

Parametr	Wartość średnia z wyznaczonych	Wartość oryginalna w modelu	
	Badania własne	ASM2d (Hauduc, 2011)	ASM3P (Hauduc, 2011)
$\mu_H$ [d <sup>-1</sup> ]	<b>9,996</b>	<b>6</b>	<b>3</b>
$b_H$ [d <sup>-1</sup> ]	<b>0,30</b>	<b>0,4</b>	<b>0,3</b>
$K_S$ [mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> ]	<b>32,01</b>	<b>4</b>	<b>10</b>

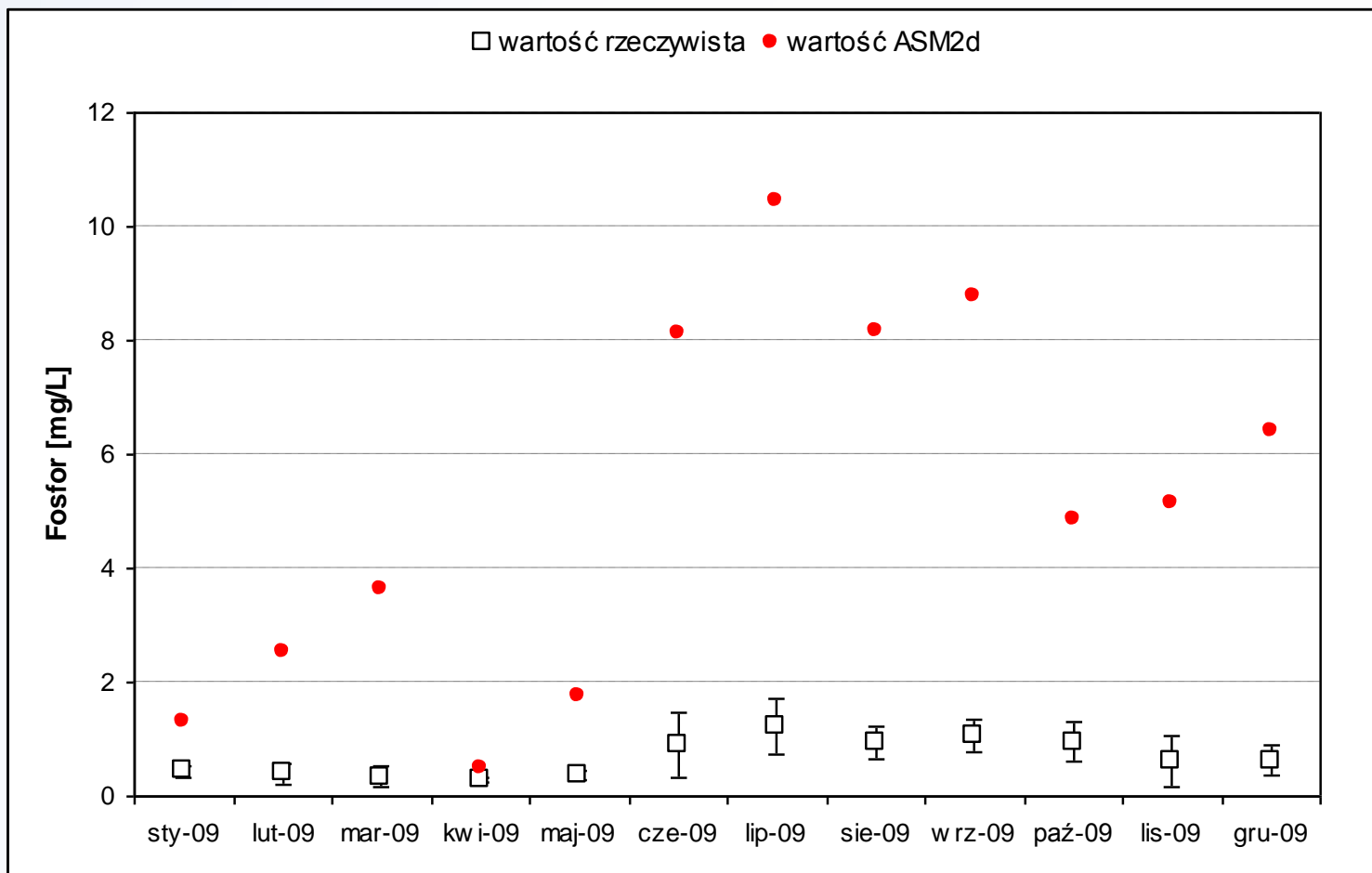
# Założenia do modelowania i ich weryfikacja

## Parametry kalibrowane dla modelu ASM2d

Parametr	Oznaczenie	Jednostka	Wartość oryginalna	Wartość po kalibracji w stanie ustalonym	Wartość po kalibracji w stanie dynamicznym	Zakres zmienności (Hauduc, 2011)
<b>Parametry stechiometryczne</b>						
Wydajność wzrostu autotroficznym organizmów nityfikujących $X_{ANO}$	$Y_A$	$\frac{g X_{AUT} \cdot g}{S_{NOx}^{-1}}$	0,24	<b>0,22</b>	<b>0,22</b>	-
<b>Parametry kinetyczne</b>						
<b>Organizmy akumulujące fosfor</b>						
Stała szybkości akumulacji $X_{PHA}$	$q_{PHA}$	$\frac{g X_{Stor} \cdot g}{X_{PAO}^{-1} \cdot d^{-1}}$	3,0	<b>3,1</b>	<b>5,0</b>	3,0-6,0
Stała szybkości akumulacji $X_{PP}$	$q_{PP}$	$\frac{g X_{PP} \cdot g}{X_{PAO}^{-1} \cdot d^{-1}}$	1,5	<b>1,6</b>	<b>3,3</b>	1,5-3,3
<b>Autotroficzne organizmy nityfikacyjne</b>						
Maksymalna szybkość wzrostu nityfikatorów $X_{ANO}$	$\mu_{AUT}$	$d^{-1}$	1,0	<b>1,05</b>	<b>1,15</b>	1,00-1,15
<b>Parametry kinetyczne wyznaczone eksperymentalnie</b>						
<b>Organizmy heterotroficzne</b>						
Maksymalna właściwa szybkość wzrostu heterotrofów $X_{OHO}$	$\mu_H$	$d^{-1}$	6,0	<b>9,996</b>		4,0-6,0
Współczynnik wymierania biomasy heterotroficznej	$b_H$	$d^{-1}$	0,4	<b>0,3</b>		-
Stała nasycenia substratem dla biomasy heterotroficznej	$K_S$	$mg O_2 L^{-1}$	4,0	<b>32,01</b>		-

# Wyniki symulacji pracy oczyszczalni ścieków w Zgierzu

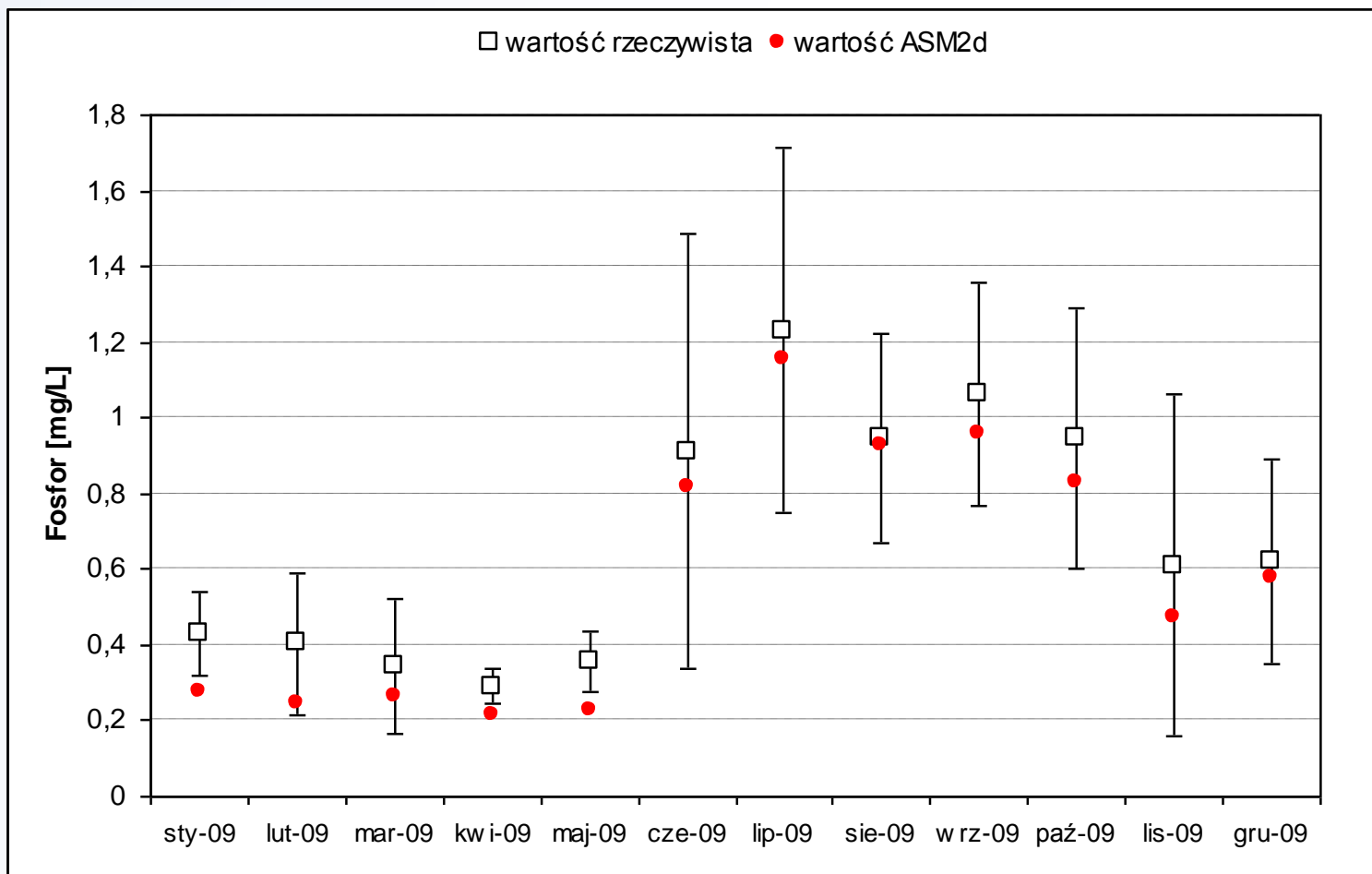
Porównanie wyników symulacji stanu ustalonego dla nieskalibrowanego modelu ASM2d z wartościami rzeczywistymi dla fosforu w 2009 roku





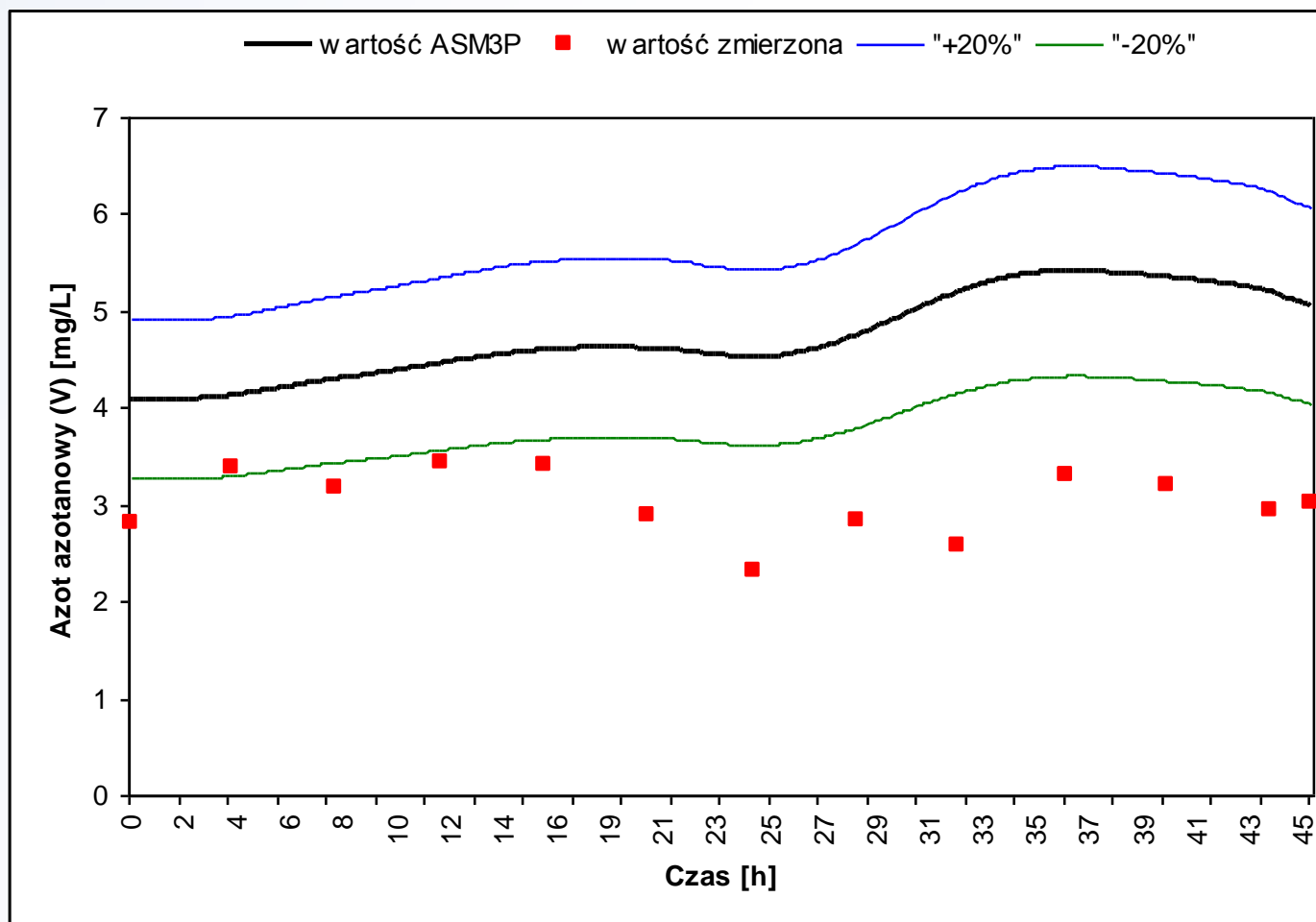
# Wyniki symulacji pracy oczyszczalni ścieków w Zgierzu

Porównanie wyników symulacji stanu ustalonego dla modelu ASM2d z wartościami rzeczywistymi dla fosforu w 2009 roku **po kalibracji**



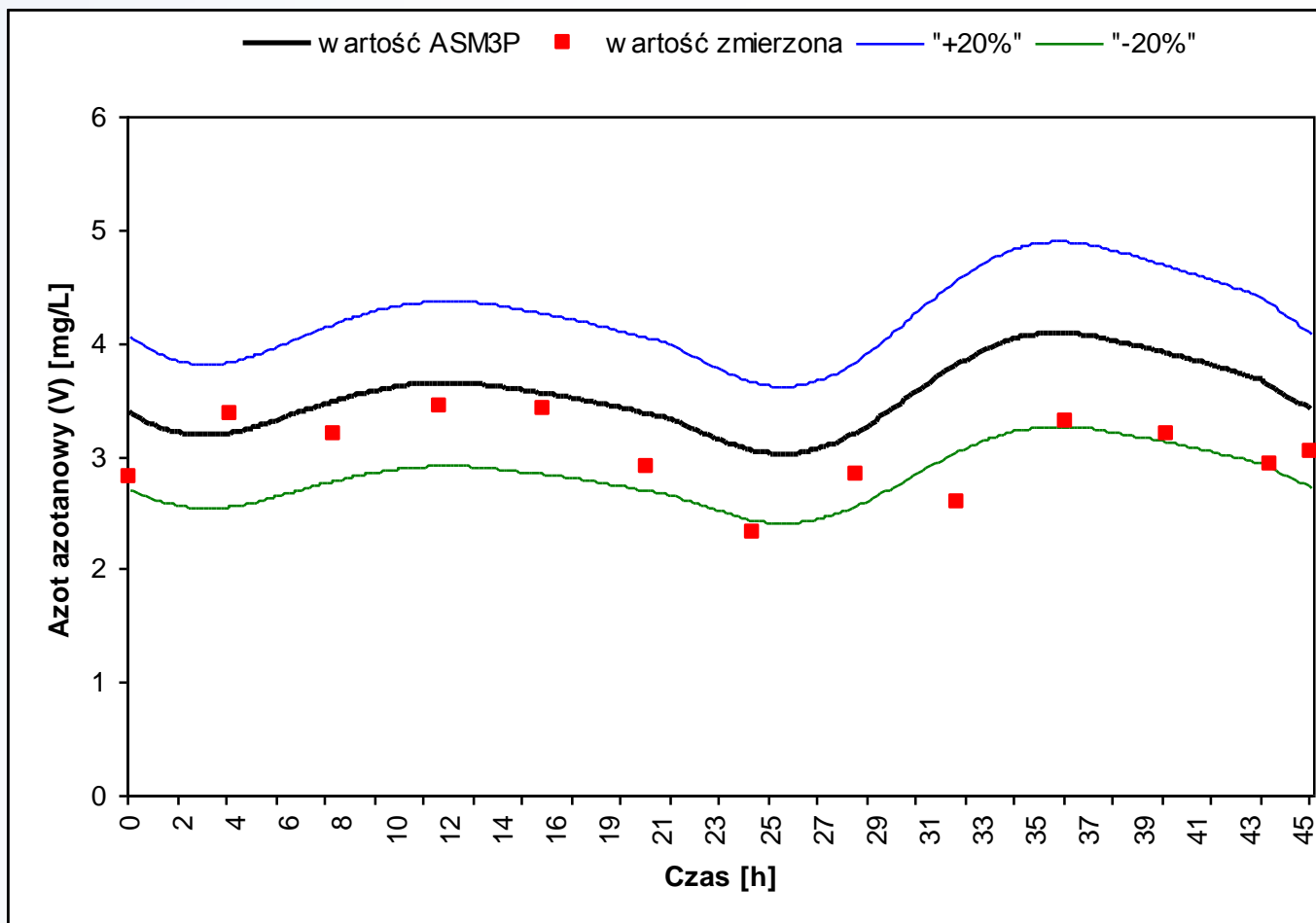
# Wyniki symulacji pracy oczyszczalni ścieków w Zgierzu

Porównanie wyników symulacji dynamicznej z wartościami rzeczywistymi dla azotu azotanowego (V). **Nieskalibrowany** model ASM3P. Pięciostopniowy układ Bardenpho w okresie od 14 do 16 czerwca 2011 roku



# Wyniki symulacji pracy oczyszczalni ścieków w Zgierzu

Porównanie wyników symulacji dynamicznej z wartościami rzeczywistymi dla azotu azotanowego (V). Model ASM3P po kalibracji. Pięciostopniowy układ Bardenpho w okresie od 14 do 16 czerwca 2011 roku



# Korzyści z zastosowania modeli ASM



- Uzyskiwane są możliwie najniższe wartości stężeń zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych odprowadzanych do rzeki Bzury
- Brak przekroczeń dopuszczalnych wartości określonych w pozwoleniu wodnoprawnym
- Niższe stężenia wskaźników zanieczyszczeń w odprowadzanych ściekach do środowiska (rz. Bzury) to niższe opłaty za korzystanie ze środowiska ponoszone przez eksploatatora
- Możliwość ustawienia optymalnego poziomu stężenia tlenu, wieku osadu (stężenia osadu) to niższe koszty eksploatacyjne



# Korzyści z zastosowania modeli ASM

## Średnie wartości podstawowych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych w 2013 roku

miesiąc	ChZT [mgO <sub>2</sub> /L]	BZT <sub>5</sub> [mgO <sub>2</sub> /L]	Azot ogólny [mgN/L]	Fosfor [mgP/L]	Zawiesiny ogólne [mg/L]
styczeń	45,5	2,4	5,4	0,29	5,3
luty	48,8	3,8	4,2	0,29	5,2
marzec	70,6	4,5	7,4	0,34	7,8
kwiecień	44,5	3	5,2	0,22	5,0
maj	36,9	3,8	4,0	0,28	5,6
czerwiec	56,5	4,4	7,2	0,26	6,8
lipiec	41,4	5,3	5,8	0,23	4,0
sierpień	45,1	4,3	4,4	0,34	4,8
wrzesień	57,6	5	4,9	0,33	10,1
październik	60,8	4	4,7	0,37	4,8
listopad	48,8	3	5,7	0,41	5,1
grudzień	57,1	7,5	6,5	0,24	6,2
<b>Średnia</b>	<b>51</b>	<b>4</b>	<b>5,5</b>	<b>0,30</b>	<b>5,9</b>
Wartość dopuszczalna (Pozwolenie wodnoprawne)	125	15	10	1	35

## Prace nurkowe w reaktorze biologicznym





## Prace nurkowe w reaktorze biologicznym





# Ciekawostki





# Ciekawostki



# Dziękuję za uwagę

**Technologia oczyszczalni ścieków w Zgierzu –  
zastosowanie modeli ASM do sterowania procesem**

Grzegorz Kacprzak  
[g.kacprzak@wodkan.zgierz.pl](mailto:g.kacprzak@wodkan.zgierz.pl)

Rafał Biernacki  
[r.biernacki@wodkan.zgierz.pl](mailto:r.biernacki@wodkan.zgierz.pl)