



**PROGRAM STRATEGICZNY – ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE
POZYSKIWANIA ENERGII**

Wykorzystanie modelu fermentacji beztlenowej ADM1 do estymacji produkcji metanu w bigazowniach rolniczych

***Ireneusz Białobrzewski^a, Ewa Klimiuk^b, Marek Markowski^a,
Katarzyna Bułkowska^b***

University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Department of Systems
Engineering^a, Department of Biotechnology in Environmental Protection^b



PROGRAM STRATEGICZNY – ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE POZYSKIWANIA ENERGII

Agenda:

- Model ADM1 i jego modyfikacje
- Narzędzia symulacji i optymalizacji
- Metodyka
- Wyniki
- Podsumowanie



**PROGRAM STRATEGICZNY – ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE
POZYSKIWANIA ENERGII**

Anaerobic Digestion Model No. 1 (ADM1)

- Prace rozpoczęte w 1997 przez International Water Association (IWA) Task Group for Mathematical Modelling of Anaerobic Digestion Processes; opublikowany w 2001 r
- Uwzględnia 19 procesów i 24 komponenty
- Podstawowe równanie:

$$\frac{dX}{dt} = k_{\max} \frac{S}{K_s + S} X \cdot I$$



**PROGRAM STRATEGICZNY – ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE
POZYSKIWANIA ENERGII**

Anaerobic Digestion Model No. 1 (ADM1)

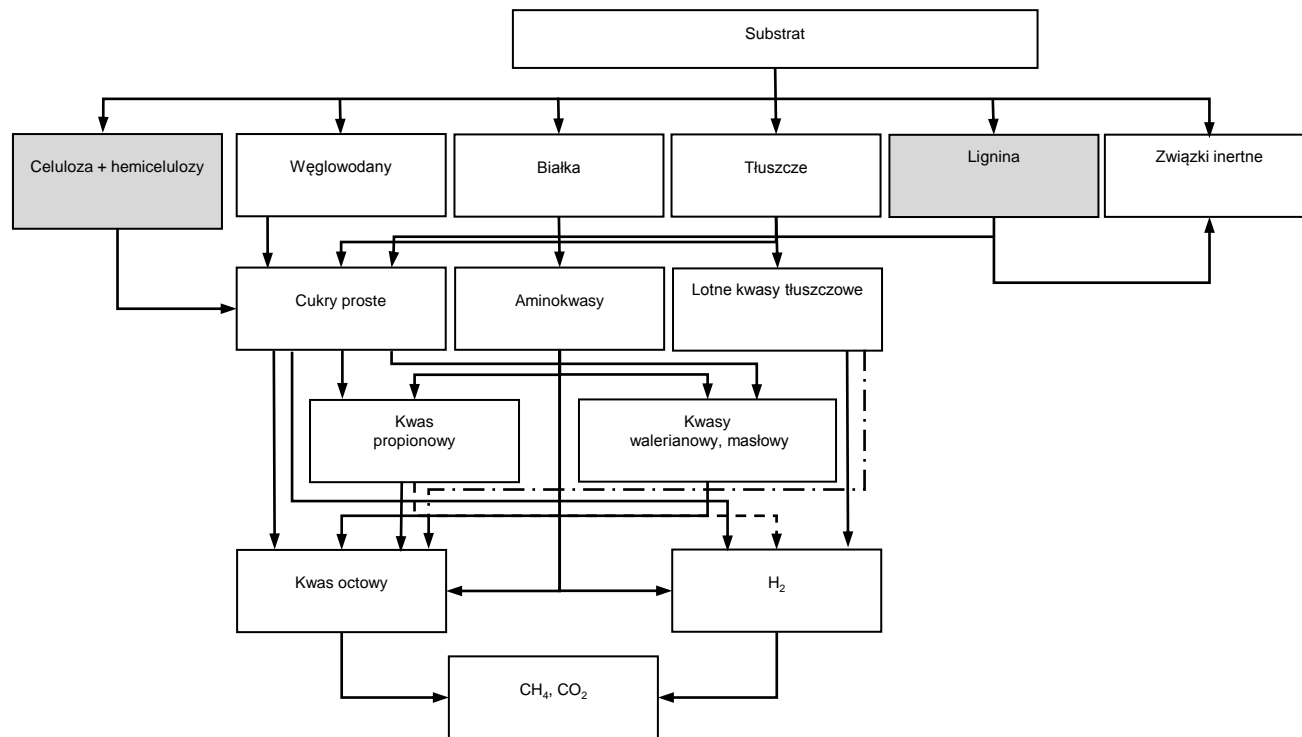
Tabela 1. Procesy przebiegające w trakcie beztlenowej fermentacji (AD) biomasy.

1	Hydroliza złożonych materiałów organicznych
2	Fermentacja aminokwasów i cukrów
3	Utlenianie długołańcuchowych kwasów tłuszczowych i alkoholi
4	Utlenianie pośrednich produktów (np. krótko-łańcuchowych kwasów tłuszczowych)
5	Produkcja oktanu z dwutlenku węgla i wodoru
6	Konwersja oktanu na metan
7	Produkcja metanu poprzez redukcję dwutlenku węgla przez wodór



PROGRAM STRATEGICZNY – ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE POZYSKIWANIA ENERGII

Anaerobic Digestion Model No. 1 (ADM1)



Rys. 1. Schemat rozkładu substratu z wytworzeniem produktów pośrednich i końcowych (biogazu) (na podstawie Batstone i in., 2002).



**PROGRAM STRATEGICZNY – ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE
POZYSKIWANIA ENERGII**

Narzędzia symulacji i optymalizacji

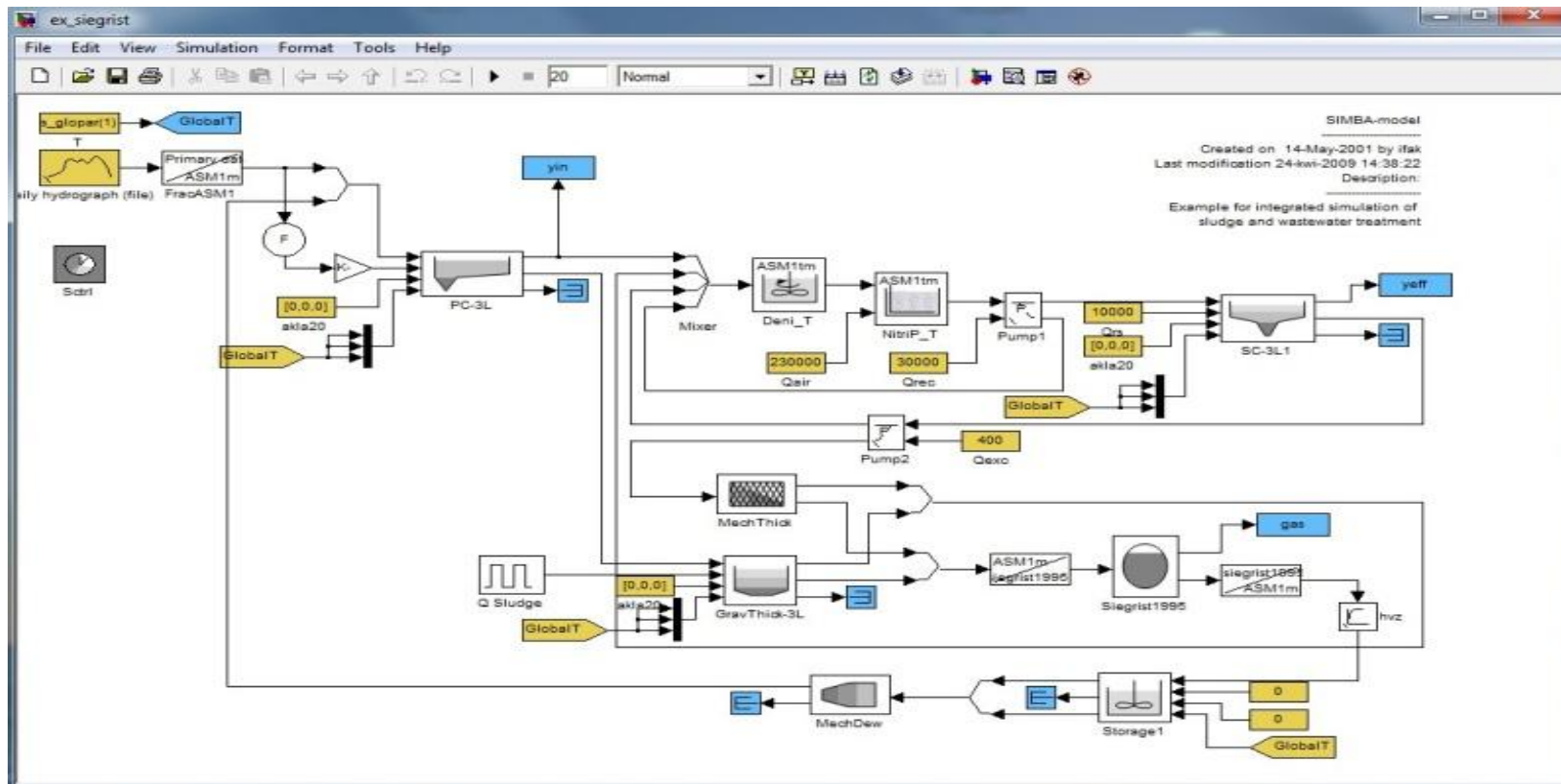
- Symulacja - pakiet SIMBA 6.4 (ifak system GmbH, Niemcy) wymagającym do działania 32-bitowego środowiska MATLAB/SIMULINK (MathWorks, USA)

- Optymalizacja – procedury MATLAB'a oraz Ziena (USA)



PROGRAM STRATEGICZNY – ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE POZYSKIWANIA ENERGII

Narzędzia symulacji i optymalizacji



Rys. 2. Model oczyszczalni ścieków. Zrzut ekranu - przykład zawarty w SIMBA 6.4



**PROGRAM STRATEGICZNY – ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE
POZYSKIWANIA ENERGII**

Narzędzia symulacji i optymalizacji

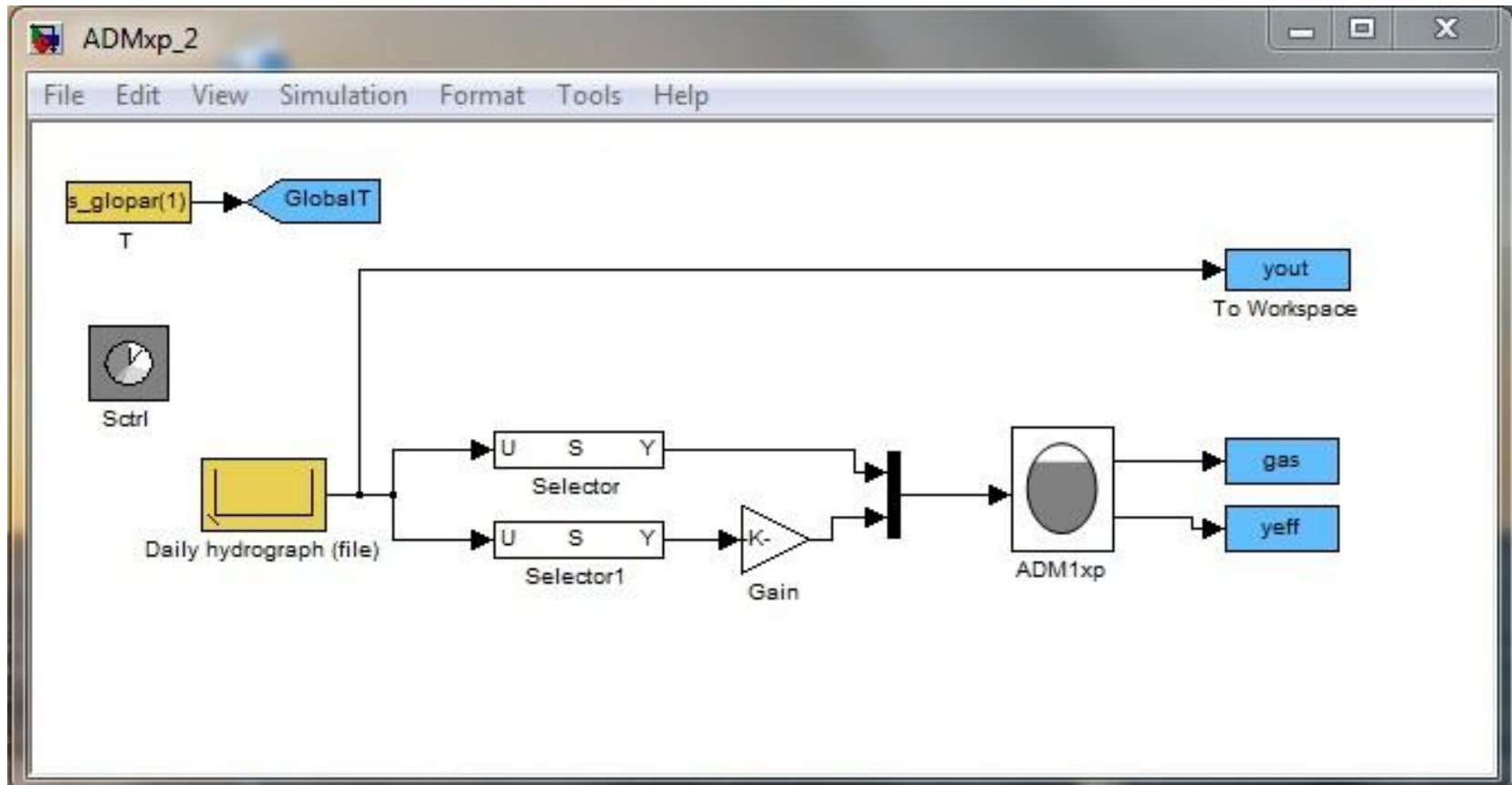
Tabela 2. Zestawienie modeli fermentacji metanowej w SIMBA 6.4

Model	Number of fractions	Number of processes
Sub-Siegrist	11	7
Siegrist (1995)	19	15
Siegrist (2001)	23	17
ADM1	33	25



PROGRAM STRATEGICZNY – ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE POZYSKIWANIA ENERGII

Metodyka



Rys. 3. Schemat (model symulacyjny) – bioreaktor eksperymentalny.



**PROGRAM STRATEGICZNY – ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE
POZYSKIWANIA ENERGII**

Metodyka

Tabela 3. Wartości ChZT dla poszczególnych komponentów na dopływie

Składniki [kg ChZT m ⁻³]	Wartość
Monosaccharides	2.23
Amino acids	1.19
Volatile fatty acids	1.84
Carbohydrates	15.6
Proteins	12.8
Lipids	3.4
Cellulose	32.7
Hemicelluloses	26.2
Lignin	10.2



**PROGRAM STRATEGICZNY – ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE
POZYSKIWANIA ENERGII**

Wyniki

Tabela 4. Wartości estymowanych parametrów

Parameter	Unit	Estimated value	Literature
Hydrolysis rate constant for cellulose	d ⁻¹	0.2318	Own research
Hydrolysis rate constant for hemicelluloses	d ⁻¹	0.1995	
Hydrolysis rate constant for lignin	d ⁻¹	0.042	
Specific Monod maximum uptake rate for acetate utilisers	kg _{COD} ·m ⁻³ _S·kg _{COD} ·m ⁻³ _X·d ⁻¹	8	ADM1xp (ifak system GmbH, Germany)
Monod half saturation constant for acetate utilisers	kg _{COD} m ⁻³	0.15	
Specific Monod maximum uptake rate for hydrogen utilisers	kg _{COD} ·m ⁻³ _S·kg _{COD} ·m ⁻³ _X·d ⁻¹	35	
Monod half saturation constant for hydrogen utilisers	kg _{COD} m ⁻³	7x10 ⁻⁶	



**PROGRAM STRATEGICZNY – ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE
POZYSKIWANIA ENERGII**

Wyniki

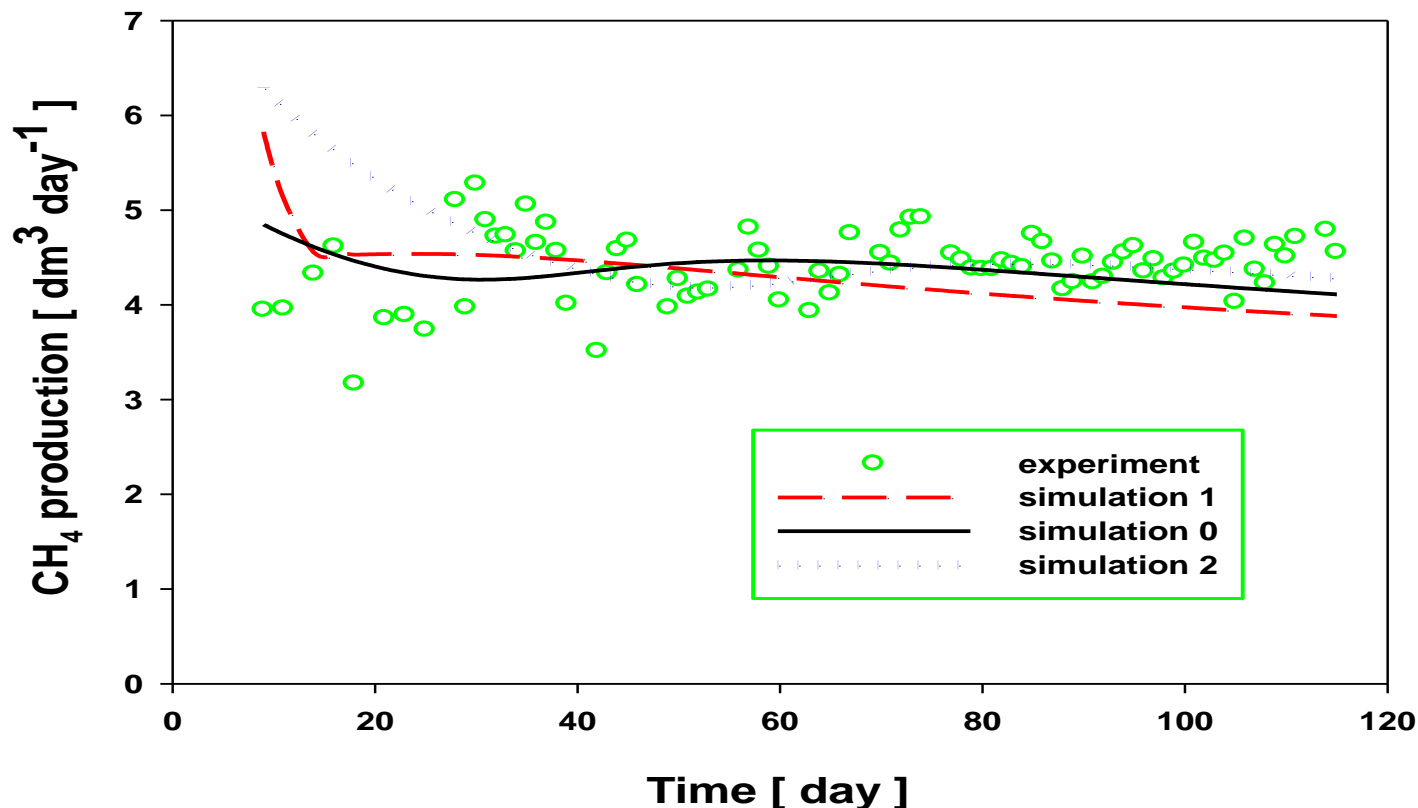
Tabela 5. Początkowe stężenie mikroorganizmów – jednostka [kg ChZT m⁻³]

Mikroorganizm	Wartość
rozkładające cukry	12
rozkładające aminokwasy	2
rozkładające LKT	3
rozkładające kwas masłowy i walerianowy	4
rozkładające kwas propionowy	4
rozkładające kwas octowy	8
zużywające wodór	4



PROGRAM STRATEGICZNY – ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE POZYSKIWANIA ENERGII

Wyniki



Rys. 4. Przebieg modelowych (linie) i eksperymentalnych zmian (punkty) fazy gazowej metanu w bioreaktorze.



PROGRAM STRATEGICZNY – ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE POZYSKIWANIA ENERGII

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych do tej pory badań symulacyjnych można przypuszczać, że zmodyfikowany model ADM1xp, rozszerzony o trzy dodatkowe frakcje (celulozy, hemicelulozy i ligniny) może być użytecznym narzędziem w optymalizacji procesu beztlenowej fermentacji metanowej zarówno w skali laboratoryjnej jak i przemysłowej. Model wymaga jeszcze modyfikacji innych współczynników m.in. odpowiedzialnych za inhibicję procesu.