Branżowe Centrum Umiejętności
Jabłoń, 22.06. – 24.06.2026 r.

Technologia produkcji biogazu

Energia z biogazu i biomasy - część II

Zagadnienia:
- czym jest biomasa i biogaz?
- jak powstaje, jak się spala?
- jakie daje korzyści?
- jakie są wady i zalety,?
- czy jest to alternatywa dla klasycznych surowców energetycznych?
- czy może mieć udział w zapewnieniu, częściowo bezpieczeństwa energetycznego?

dr hab. inż. Grzegorz Wałowski, prof. ITP-PIB
walowski.g@gmail.com

g.walowski@itp.edu.pl

W bloku tematycznym – cz. III, przedstawiono :

- Proces faz produkcji biogazu;
- Warianty technologiczne budowy biogazowni rolniczej;
- Eksperymentalną ocenę hydrodynamiki przepływu wielofazowego w reaktorze monosubstratowym ze złożem adhezyjnym przy zastosowaniu immobilizacji mikroorganizmów metanogennych;
- Wykonanie badań doświadczalnych w zakresie oceny pomiarów ilościowo-jakościowych przepływu biogazu;
- Przeprowadzenie analizy uzyskanych wyników dla produkcji biogazu.

✓ chemicznym (makromolekularna natura)

- o składzie % obj.
(50÷75) CH_4
(20÷45) CO_2
(0÷2,1) CO
(20÷20.000)ppm H_2S
<1 H_2
<2 N_2

✓ fizycznym (heterogeniczna natura)

- palna mieszanina gazów, powstała w procesie fermentacji anaerobowej biomasy

Rys. 1. Płomienie gazu

I. Etap - HYDROLIZA

$$w + t + b \longrightarrow cp + a + kt + H_2O$$

II. Etap - KWASOGENEZA

$$kkt + al + CO_2 + H_2 + NH_3 + H_2S$$

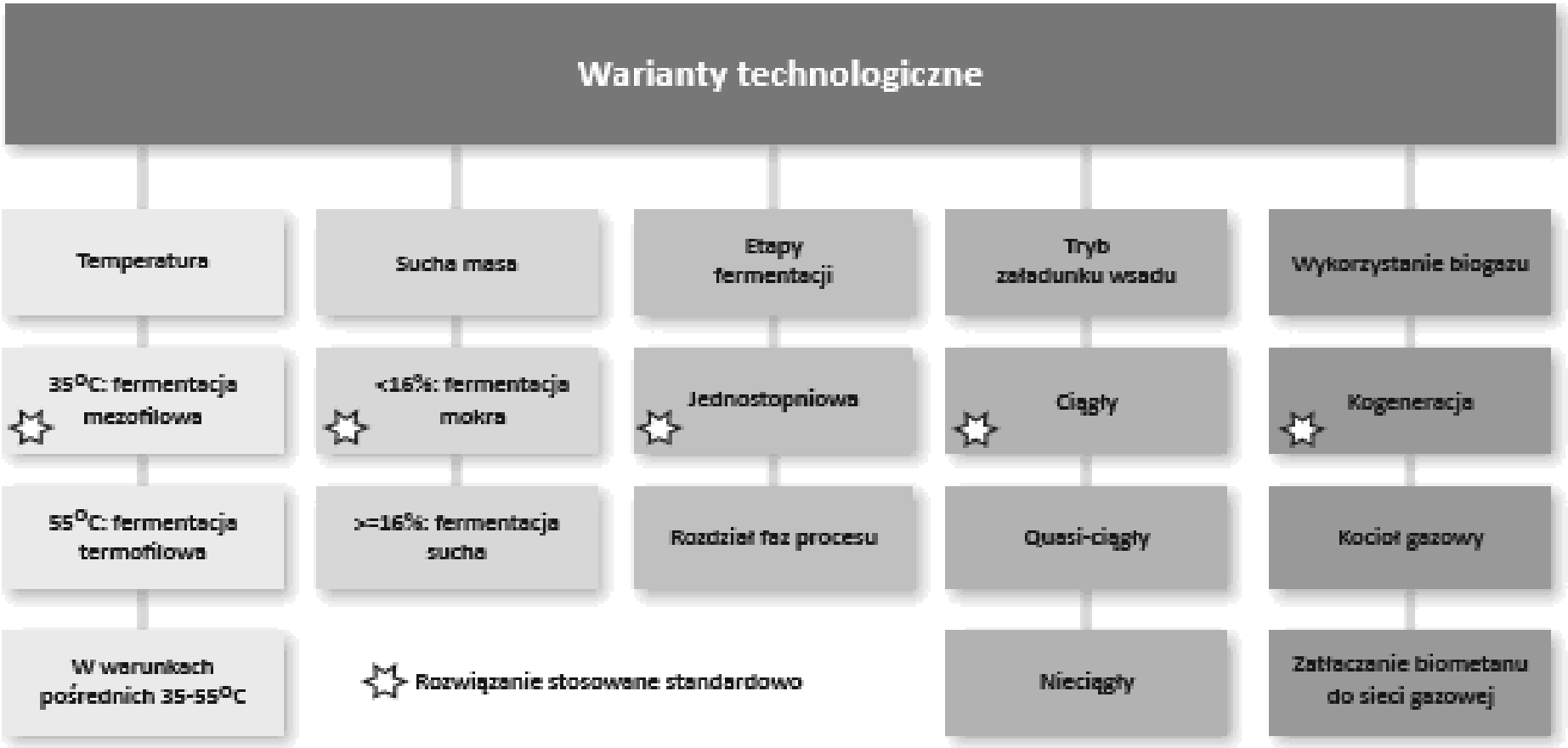
III. Etap – ACETOGENEZA

IV. Etap – METANOGENEZA

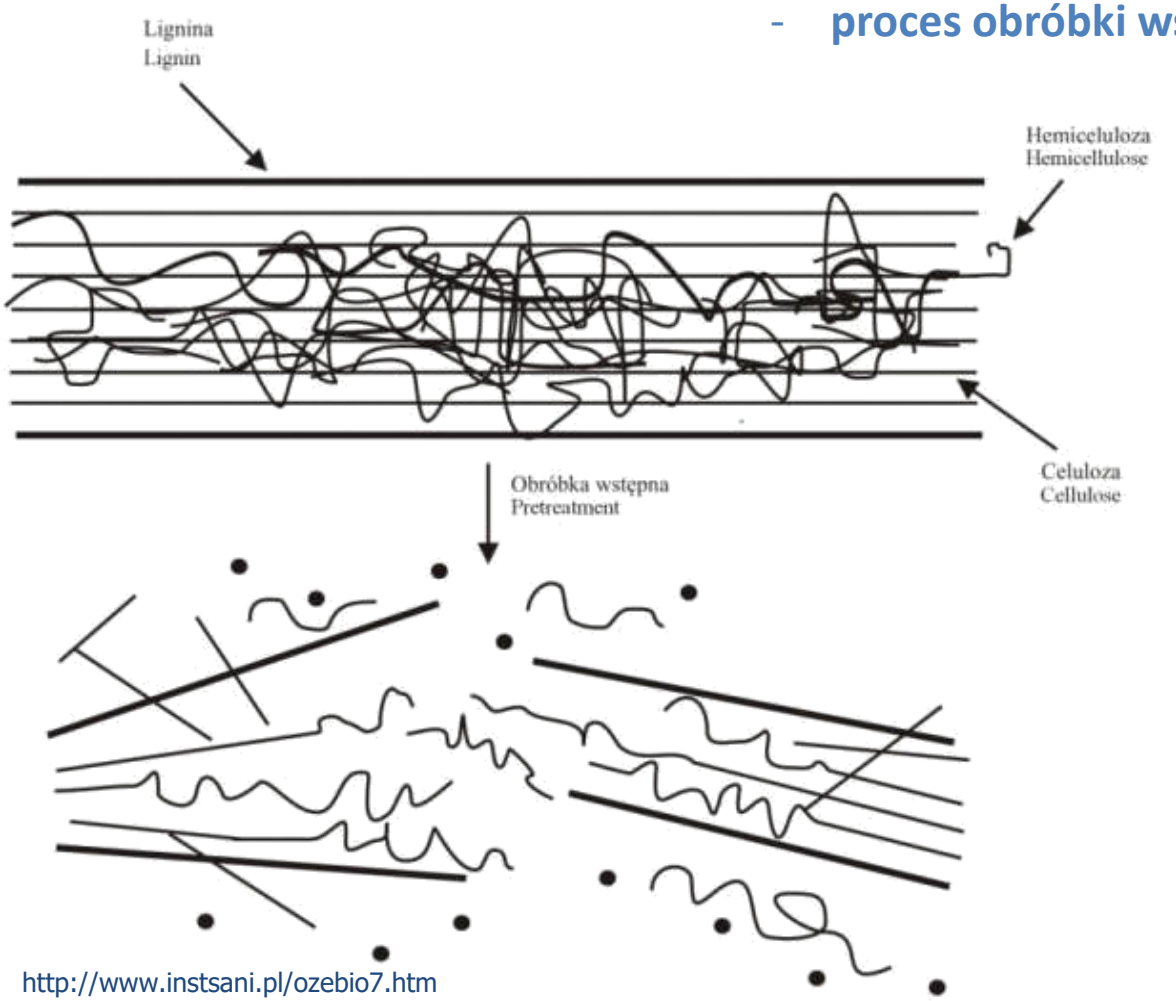
$$o + H_2 + CO_2 \longrightarrow CH_4 + CO_2 + CO + H_2S + H_2 + N_2$$

Rys. 2. Etapy produkcji biogazu

Legenda: w – węglowodany, t – tłuszcze, b – białka, cp – cukry proste, a – aminokwasy, kt – kwasy tłuszczowe, H_2O – woda, kkt -krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe, al – alkohole, CO_2 – dwutlenek węgla; H_2 – wodór, NH_3 –amoniak, o-octany, CH_4 – metan, H_2S – siarkowodór, N_2 - azot



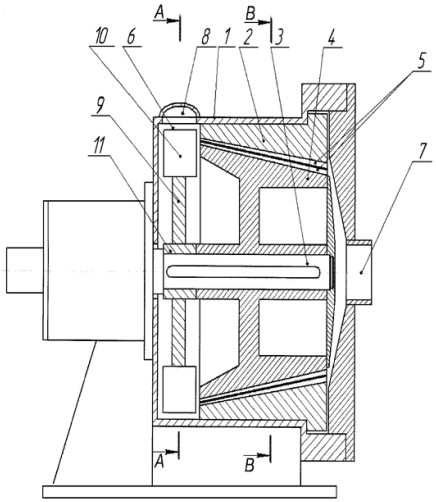
Rys. 3. Warianty technologiczne budowy biogazowni rolniczej; wg A. Oniszk-Popławska, M. Matyka, Raport końcowy z badania dziedzinowego. „Kompleksowa ocena uwarunkowań w zakresie produkcji biogazu w województwie lubelskim”. Regionalny System Zarządzania Zmianą Gospodarczą, 2012 r.



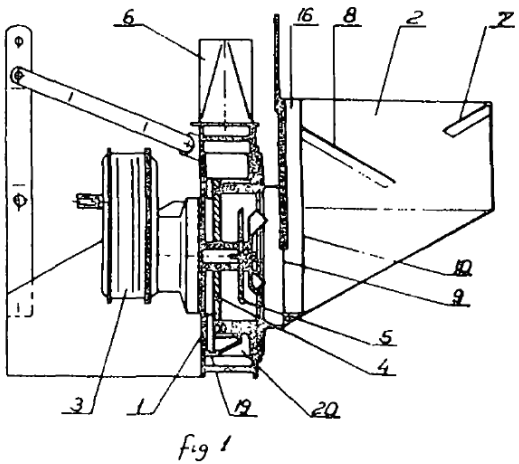
http://www.instsani.pl/ozebio7.htm

Rys. 4. Maceracja biomasy

Beztlenowy rozkład biomasy lignocelulozowej na etapie wstępnej hydrolizy fazy fermentacji metanowej, wpływa na lepszą wydajność procesu produkcji biogazu.
Intensyfikację tej fazy można uzyskać w wyniku wstępnego przygotowania substratu, którego celem jest rozdrobnienie fazy stałej oraz uszkodzenie zwartej struktury lignocelulozy.
Ponadto na etapie obróbki wstępnej biomasy dąży się do zwiększenia powierzchni kontaktu surowca z enzymami oraz zmniejszenia stopnia krystalizacji i polimeryzacji celulozy.

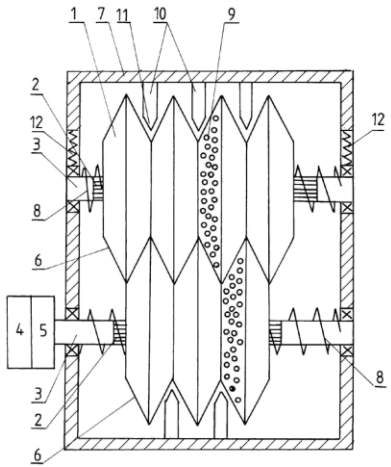


a) Młyn koloidalny

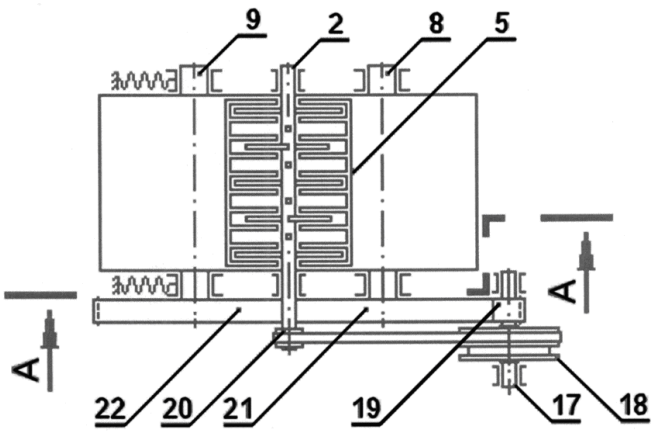


b) Rozdrabniacz

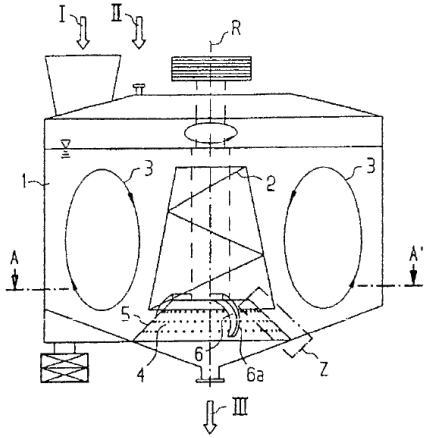
Rys. 5. Wybrane urządzenia do wstępnej obróbki biomasy wg zgłoszeń patentowych – cz 1: a), b).



c) Zespół zgniatająco-ścierający maceratora dezintegrator

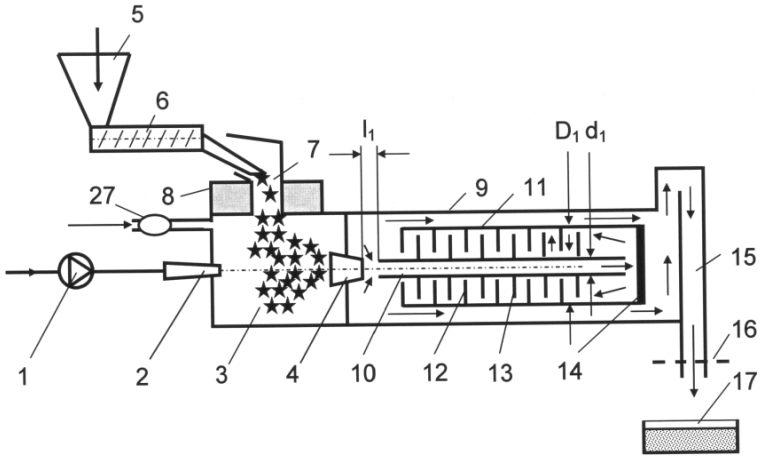


d) Rozdrabniająco-macerujący

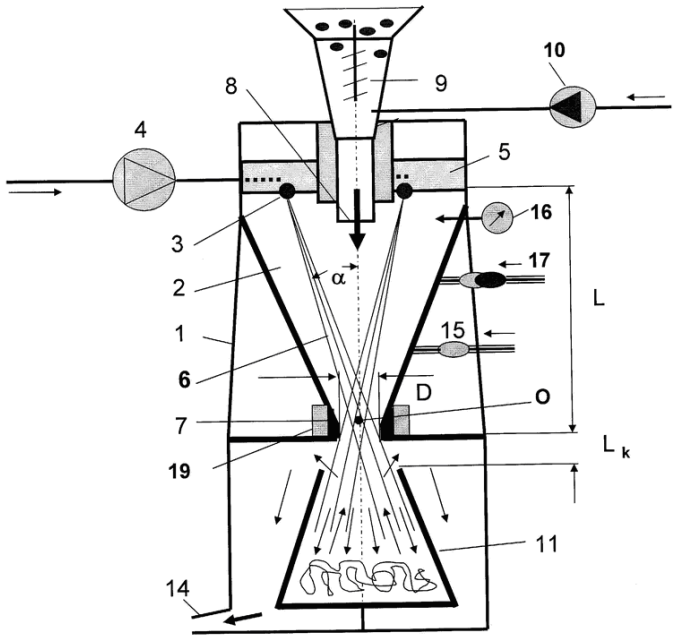


e) Maszyna do rozcierania

Rys. 5. Wybrane urządzenia do wstępnej obróbki biomasy wg zgłoszeń patentowych – cz. 2: c), d), e).

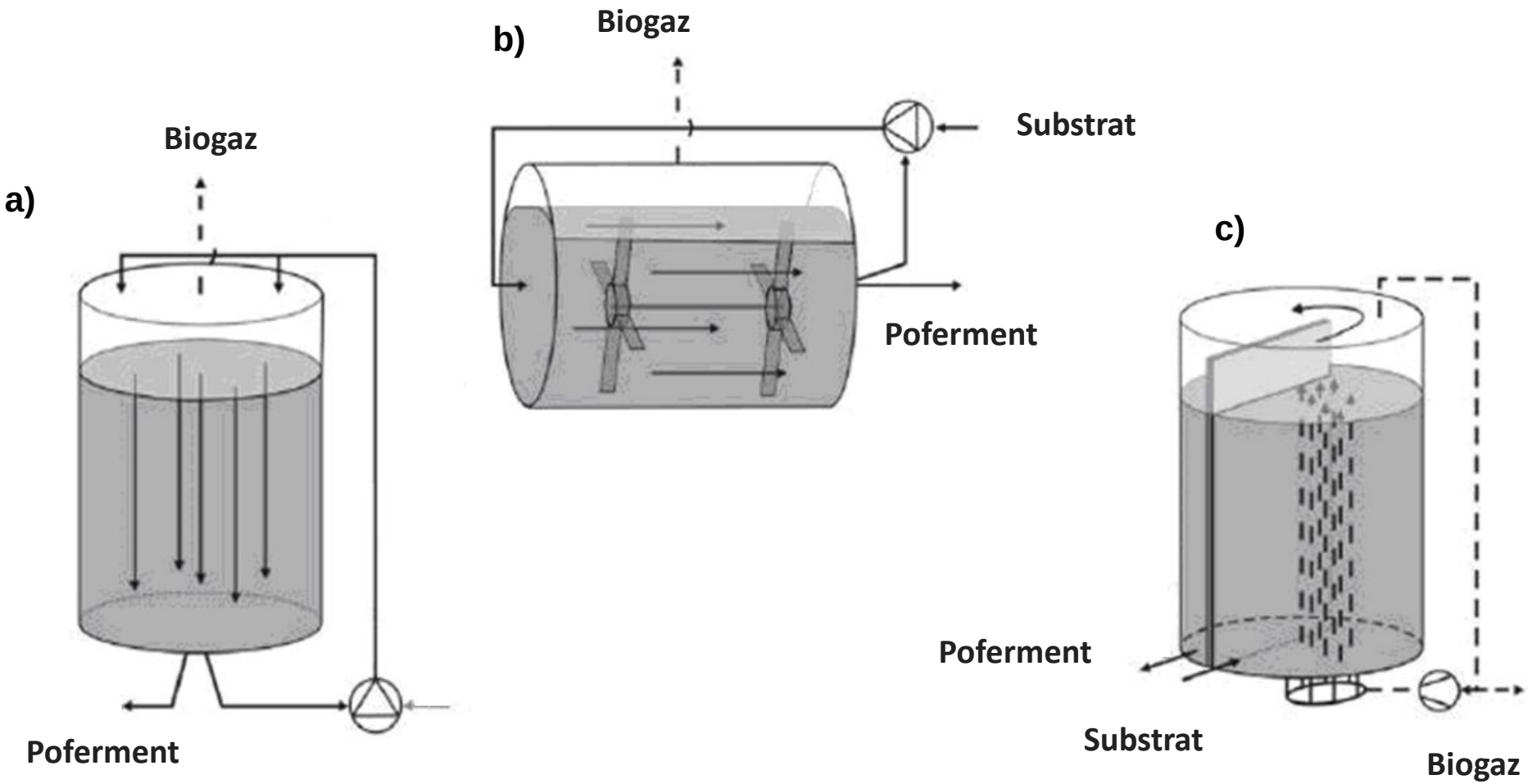


f) Mikronizator



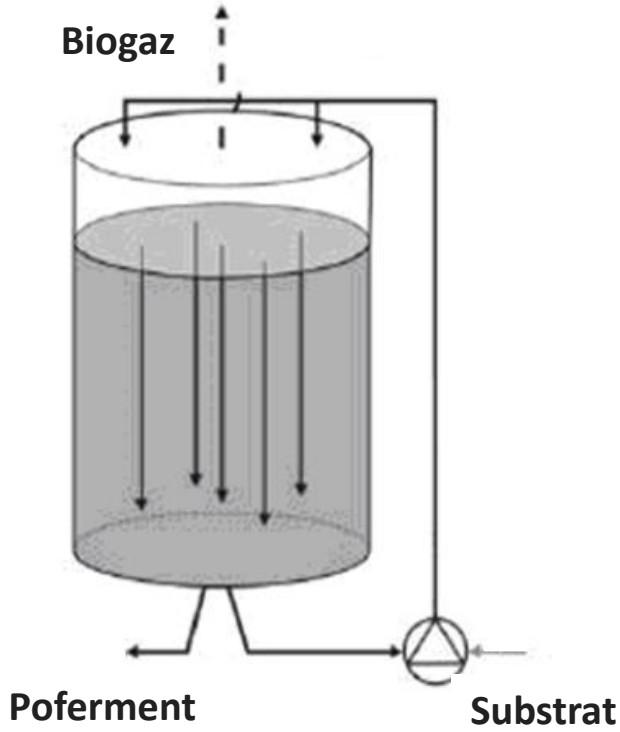
g) Mikronizator inżektorowy

Rys. 5. Wybrane urządzenia do wstępnej obróbki biomasy wg zgłoszeń patentowych – cz. 3: f), g)



Rys. 6. Przykładowe techniki fermentacji beztlenowej: a) Dranco, b) Kompogas, c) Valorga;
[A. Jędrczak, Przegląd Komunalny (6) 2001]

Immobilizacja z łac. „*immobilia*”, czyli nieruchomy, polega na częściowym lub całkowitym ograniczeniu swobodnego ruchu drobnoustrojów (mikroorganizmów) przy jednoczesnym zapewnieniu im dostępu do składników odżywczych i odpływu produktów przemiany (gaz i poferment).



Rys. 7. Przykładowa technika fermentacji beztlenowej – Dranco [Jędrczak, 2001; Wałowski i in. 2019]:

Tabela 1. Unieruchamianie drobnoustrojów [opracowanie własne]

Metody	- na powierzchni nośnika	- wewnątrz nośnika	- bez nośnika
Techniki	adsorpcja (wiązanie)	inkluzja (pułapkowanie)	sieciowanie przestrzenne
	adhezja (przyleganie)	kapsułowanie:	flokulacja:
	wiązania kowalencyjne	(i) nano i mikro (kapsułka) (ii) makro (kapilara)	(i) indukowana, (ii) naturalna (samoagregacja)

Tabela 2. Metody intensyfikacji produkcji biogazu – cz. 1 [opracowanie własne].

	Metody			
	mechaniczne	chemiczne	termiczne	magnetyczne
Obiekt:	***Biogazownia współpracująca z komunalną oczyszczalnią ścieków***			
Technika	- obrototy reaktora membranowego [Rogut i in. 1999];	- rozdeszczowanie octan sodu [Pawłowska i in. 2008];	- instalacji z rur plastikowych z ciepłą wodą pod wysypiskiem, [Maślankiewicz i Wojciechowski 2012];	- oddziaływania na osad stałego pola magnetycznego, wytworzonego przez megnetyzery monobiegunowe [Nogal 2007];
	- wprowadzania osadów ściekowych do wysokości 1 m poniżej powierzchni, a następnie przykrywa się warstwą odpadów komunalnych. [Pleczyński i in. 2008];			- lanca magnetyczna [Nogal 2015];

Tabela 2. Metody intensyfikacji produkcji biogazu – cz. 2 [opracowanie własne].

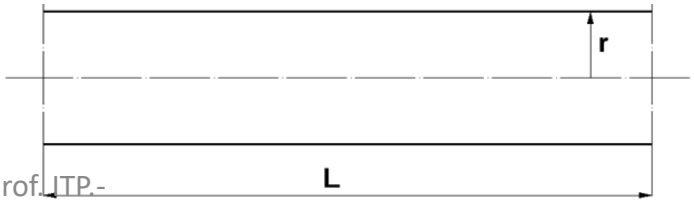
	Metody			
	mechaniczne	chemiczne	termiczne	magnetyczne
Obiekt:	***biogazownia rolnicza***			
Technika	- prowadzenie fazy hydrolizy w oddzielnym zbiorniku i oddzielenie jej od fazy fermentacji metanowej z jednoczesną recyrkulacją części zawartości fermentatora do zbiornika hydrolitycznego;	- dobór kosubstratów i ich proporcji;		
		- dodawanie mikroelementów i substancji porowatych dla rozwój bakterii;		
		- dodawanie substancji inokulujących zawierających wyselekcjonowane szczepy bakterii;		
		- dezintegracja chemiczna lub enzymatyczna;		

- **Zdolność transportująco-magazynowa** płynów wskutek działania sił zewnętrznych i wewnętrznych

Rys. 8. Fraktalny przepływ i funkcje jego struktury drzewiastej:
a) transportująca [Simons, 1995]; **b) magazynująca** [Niezgoda i in., 2012]; **c) transportująco-magazynująca** [Fitzner, 1993]

W odniesieniu do złóż szkieletowych, istotny wpływ na warunki przepływu gazu ma **porowatość złoża** wynikająca z kształtu kanalików i kapilar. Przykładowe modele o kształcie wzajemnych powiązań między kapilarami wg założeń autorów:

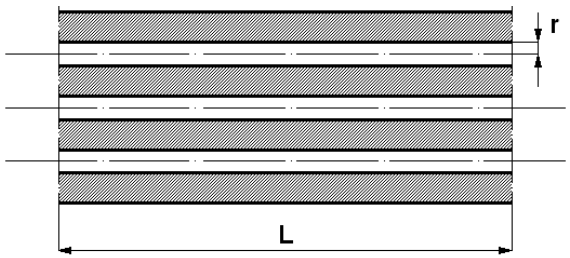
1) **modele kapilar kołowo-symetrycznych o jednorodnym kształcie** – Tabela 3:

Autor	Kształt kapilary	Schemat
Burdine [Burdine, 1953]	cylindryczna o stałym promieniu	

Symbole (wykaz ważniejszych oznaczeń): *L* - długość, m; *r* - promień, m;

Przykładowe modele o kształcie wzajemnych powiązań między kapilarami wg założeń autorów:

2) **model strukturalny jednokrotny** – Tabela 4:

Autor	Kształt struktury	Schemat
Aksielrud i Altszuler [Aksielrud i Altszuler, 1987]	kapilarny materiał porowaty	

Symbole (wykaz ważniejszych oznaczeń): *L* - długość, m; *r* - promień, m;

3) **modele struktur wielokrotnych**, determinujące warunki hydrodynamiczne, w stosunkowo długim okresie czasu (na przestrzeni lat).

Rys. 9. Forma strukturalna i modele ruchu gazu w ośrodku szczelinowo-porowatym [Hagoort, 1988]

3.4. Podsumowanie przeglądu literatury

W wyniku analizy przeglądu literatury dotyczącej intensyfikacji produkcji biogazu rolniczego wyprodukowanego w procesie fermentacji beztlenowej stwierdzono, że:

1) Techniczne aspekty determinują warianty technologiczne wytwarzania biogazu ;
2) W zakresie oceny praktycznej dokonano opisu metod i technik stosowanych w intensyfikacji produkcji biogazu bazujących na biogazowniach współpracujących z komunalnymi oczyszczalniami ścieków - nieliczne natomiast metody odnoszą się do biogazowni rolniczych;
4) Kluczowym zagadnieniem związanym z rozwojem sektora biogazowego staje się poszukiwanie nowych i doskonalszych technik umożliwiających intensyfikację procesu produkcji biogazu.
5) Metody i techniki stosowane w immobilizacji mikroorganizmów metanogennych, nie wskazują jednoznacznie, że rozpoznane jest zagadnienie zaadoptowania mikroorganizmów do produkcji gazu przy użyciu materiałów porowatych oraz chropowatych uwzględniające kryteria hydrodynamiczne.

a)

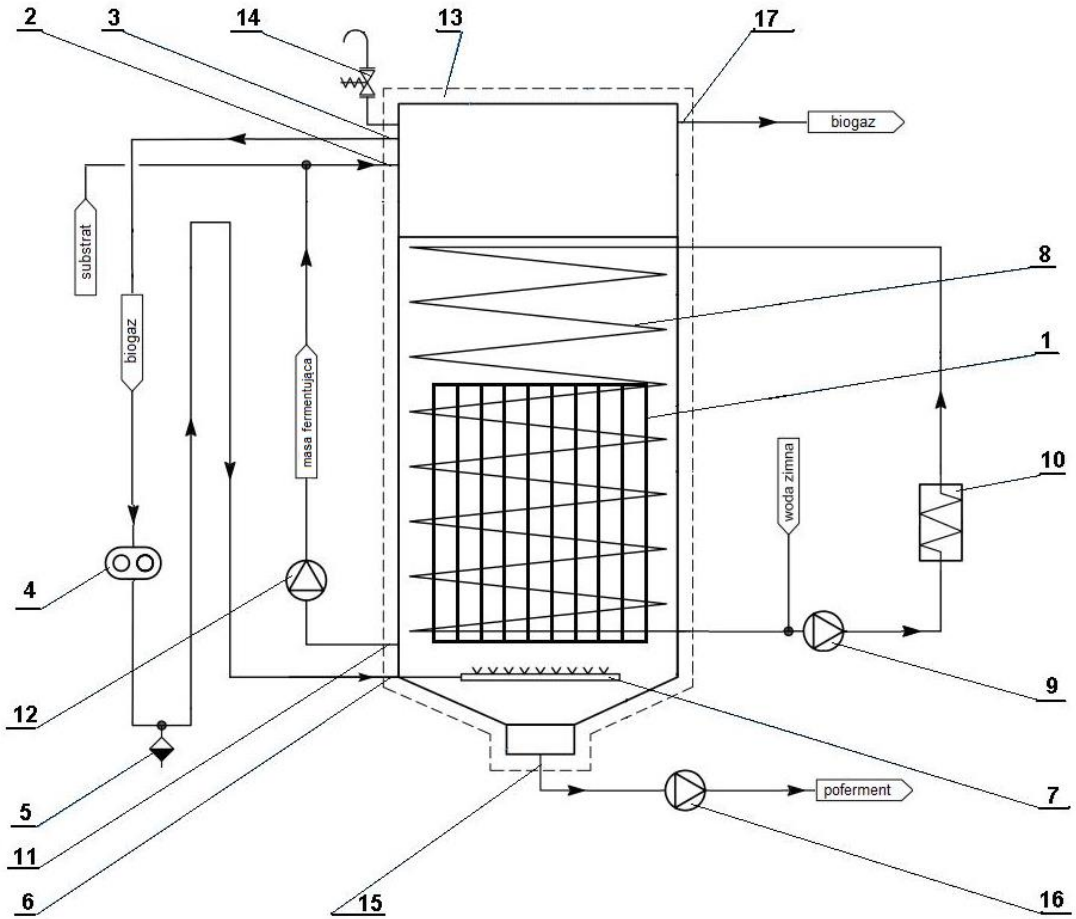
4. Biogazownia
- instalacja pilotażowa

Rys. 10. Składowe zrównoważonego systemu gospodarowania i wytwarzania energii dla mobilnej pilotażowej biogazowni kontenerowej: a) producent substratu, b) model konwersji.

Układ pomiarowy (P.424291)

a)

b)



Oznaczenia:
1 – rura,
2 – króciec,
3 – króciec wylotowy biogazu,
4 – dmuchawa,
5 – zawór odwadniający biogaz,
6 – króciec wylotowy biogazu,
7 – barbotka,
8 – spirala grzewcza,
9 – pompa wody,
10 – wymiennik ciepła,
11 – króciec wylotowy masy fermentującej,
12 – pompa masy fermentującej,
13 – izolacja cieplna,
14 – zawór bezpieczeństwa,
15 – główny króciec wylotowy pofermentu,
16 – pompa pofermentu,
17 – króciec wylotowy biogazu.

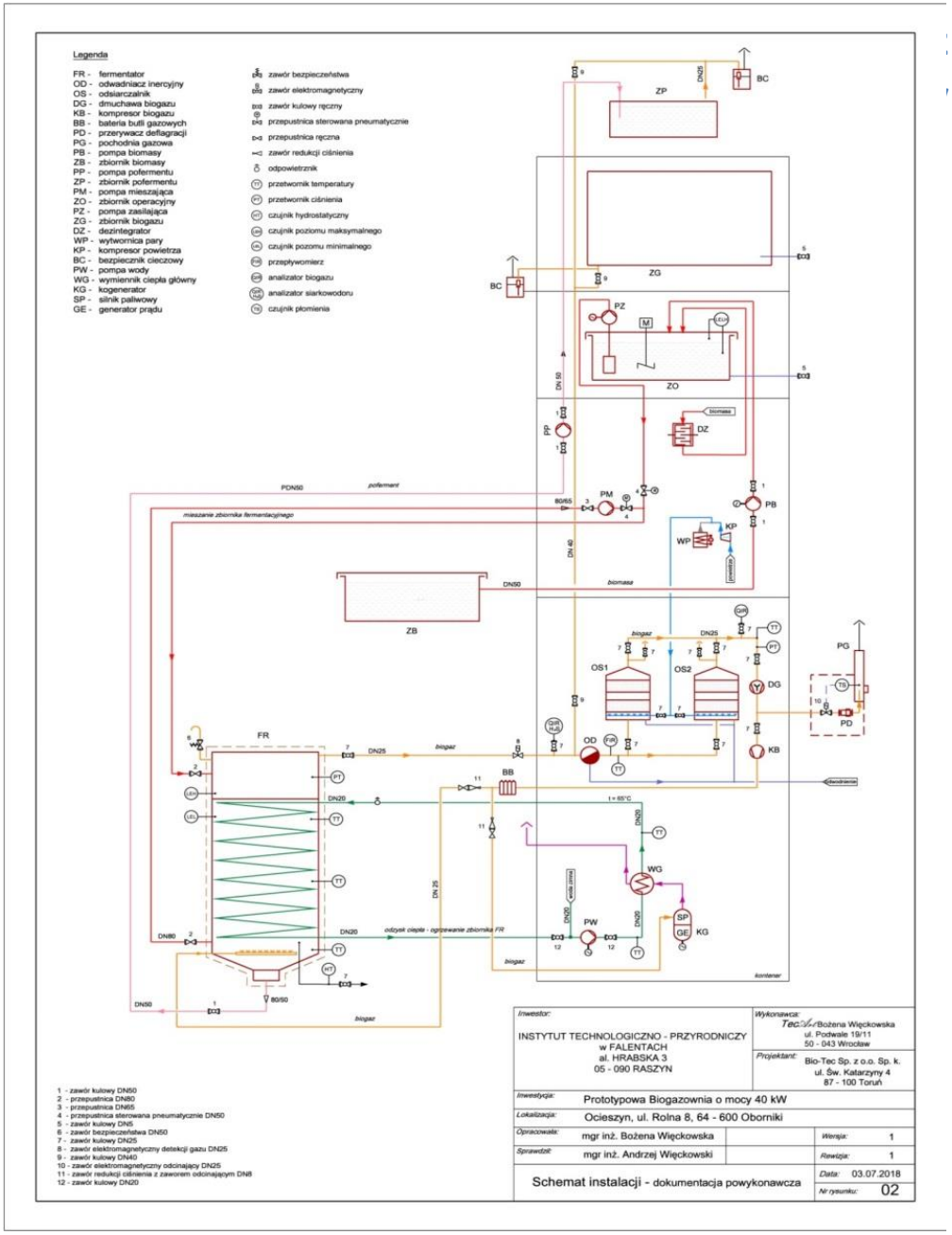
Rys. 11. Fragment instalacji - fermentator [archiwum ZOZE]**: a) widok, b) schemat.**

4.2. Biogazownia
- Instalacja pilotażowa

Wg zgłoszenia (P.424291)

a)

b)



Rys. 12. Instalacja: a) widok, b) schemat.

4.3. Fermentator - reaktor monosubstratowy

Cykl procesu dla substratu:

-mieszanie 4 razy po 2 min. co 6 godz.

-wymiana masy 1 m^3/48 godz.

c)

b)

d)

a)

Rys. 13. Układ mieszania dla substratu w reaktorze - widok: a) elementy konstrukcyjne do ssania, b) fragment dyszy ssącej, c) i d) tłoczenie czynnika inertnego podczas próby szczelności.

4.4. Fermentator - złoże adhezyjne

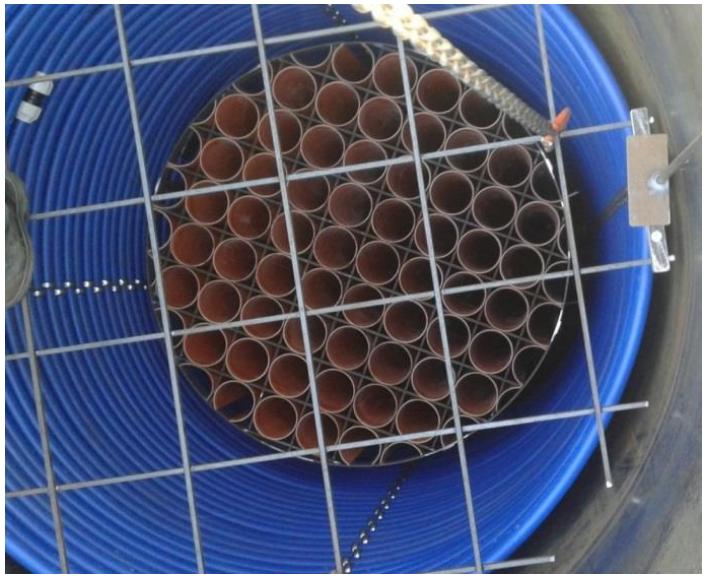
Wypełnienie fermentatora:

- **tzw. „kosz” z rurami typu A PVC-U S4 UD**
- **chropowatość po piaskowaniu wynosi 80 µm**

a)

b)

c)



d)

Rys. 14. Złoże adhezyjne, szkieletowe - widok:
a) wykonane z pionowych rur, b) fragment złoża po piaskowaniu,
c) usytuowane w reaktorze przed próbą ciśnienia, d) zalane wodą dla prób ciśnienia

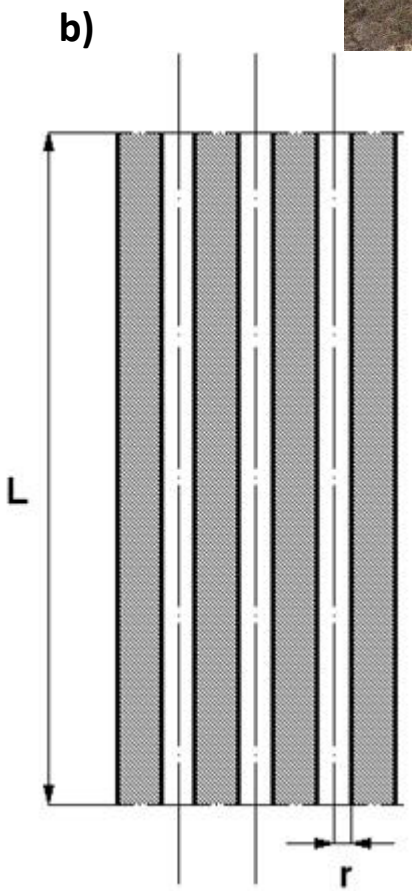
4.4. Fermentator - złoże adhezyjne

Rura (1 szt. to pozorna elementarna jednostka złoża) :

- **wysokość h_r=2030 mm**
- **średnica d_r=160 mm**
- **objętość rury (pierścienia) V_r=0,00634 m^3**

Złoże szkieletowe (72 szt. rur):

- **wysokość h_z=2030 mm**
- **średnica d_z=1620 mm**
- **objętość złoża V_z=0,4564 m^3**
- **<u>porowatość złoża ε=10,91%, ε ≈0,11</u>**
- **pole przekroju A_z=0,2266 m^2**



Rys. 15. Złoże szkieletowe - widok:
a) wykonane z pionowych rur, b) schemat modelu strukturalnego materiału porowatego

4.5. Fermentator
- urządzenia pomiarowe

a)

b)

c)

d)

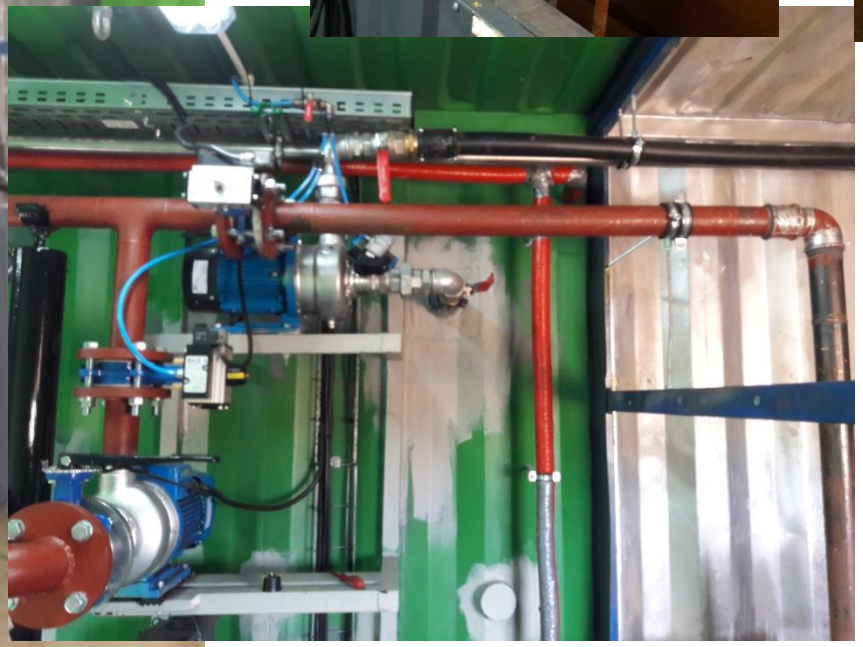
Rys. 16. Zainstalowane urządzenia pomiarowe dla fermentatora - widok: a) ciśnieniomierz biogazu, b) kamertony do pomiaru poziomu wsadu, c) termometry (ściana), d) termometr (dno).

4.6. Biogazownia
- „ścieżka gazowa”

a)

c)

d)



b)

Rys. 17. Elementy instalacji: a) elastyczny zbiornik biogazu, b) układ pomp, c) zbiornik operacyjny z napędem mieszającym, d) mieszadło.

4.7. Biogazownia - kogeneracja

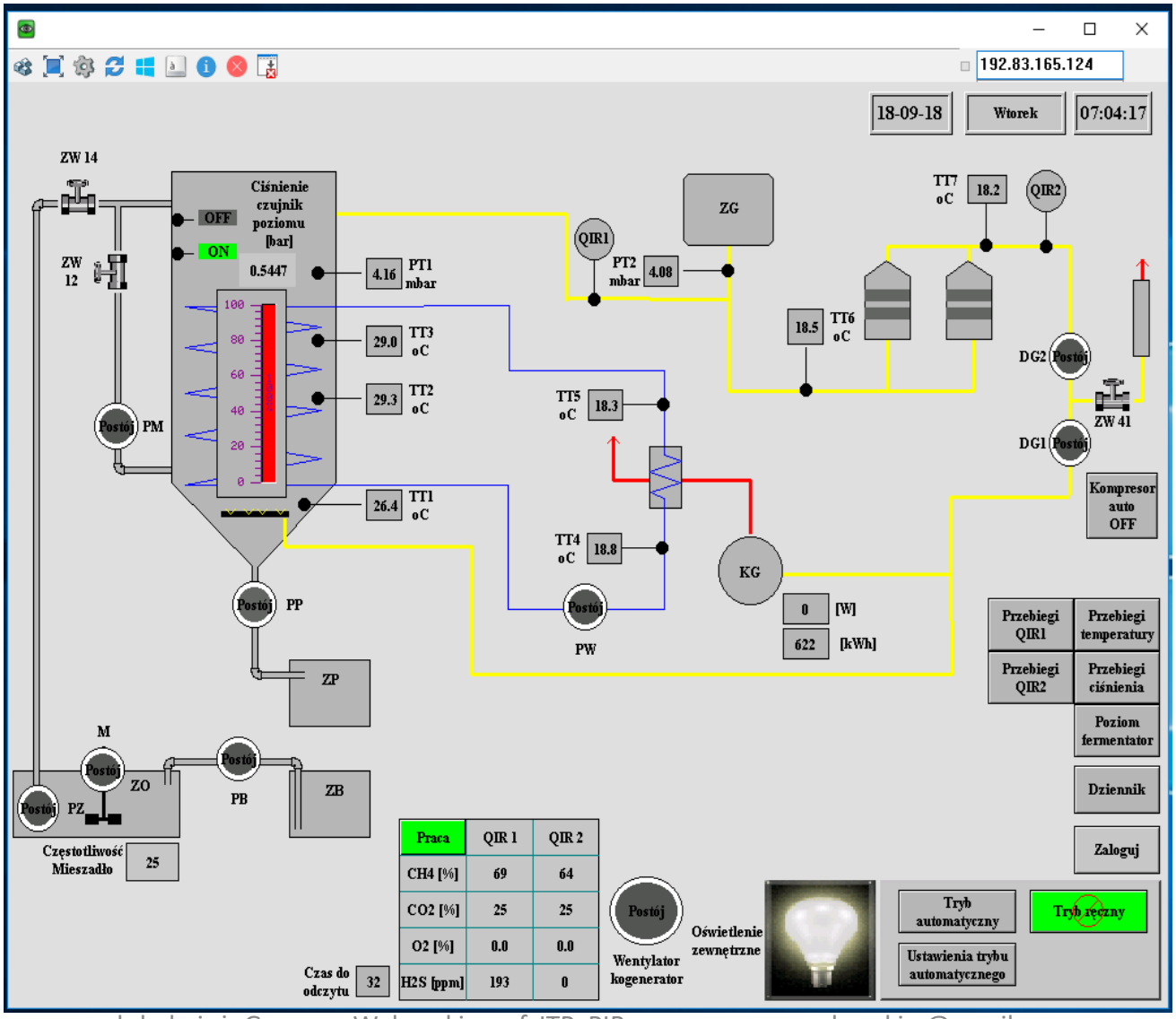
a)

b)

Rys. 18. Elementy instalacji: a) fragment „ścieżki biogazowej", b) kogenerator.

4.8. Biogazownia
- układ sterowania

a)



b)

Rys. 19. Elementy instalacji - układ sterowania biogazowni: a) plansza synoptyczna, b) sterownia.

4.9. Biogazownia
- proces technologiczny

Inoculacja:

- objętość startowa 10 m^3

- pH 8

c)

a)

b)

Rys. 20. Rozruch (10 dni) i produkcja biogazu - widok: a) inoculacja, b) mieszanie mechaniczne, c) zbiornik surowego biogazu, d) oczyszczony na rudzie darniowej biogaz sprężony do 100 bar.

- Zawartość poszczególnych składników biogazu rolniczego nie jest stała, lecz zależy od specyfiki realizowanego procesu technologicznego oraz rodzaju materiału wsadowego.
- Szczególne znaczenie ma zawartość metanu (CH_4) w biogazie, która decyduje o wartości opałowej tego paliwa. Istotnym parametrem jest również stężenie siarkowodoru (H_2S), które stanowi zanieczyszczenie biogazu i utrudnia jego wykorzystanie.

Tabela 5. Metody odsiarczania biogazu – cz.1 [opracowanie własne].

Metoda	Proces lub technika	Zastosowanie	Zakres wydajności odsiarczania biogazu,
Fizyczna	Absorpcja (mokra)	- płuczka wodna, wykorzystuje się różnice rozpuszczalności CO_2 i CH_4 w rozpuszczalnikach polarnych; - absorbent: a) metanol (Rctisol), b) eter dimetylowy polietylenoglikolu (Selexol, Genosorb), c) węglan propylenowy (Fluor), d) sulfolan (Sulfinol).	do (94÷96) % [Piskowska-Wasiak 2014; Pomykała, Łyko 2013]
	Adsorpcja (sucha)	- adsorbent: a) węglowy (węgiel aktywny), b) mineralny, c) mineralno-węglowy.	do 95% [Cebula 2012; Żarczyński i in. 2014]
	Adsorpcja (mokra)	- rozpuszczanie H_2S w wodzie lub rozpuszczalnikach organicznych: a) Genosorb, b) Rectisol, c) Ifpex.	> 96% [Piskowska-Wasiak, 2014; Pomykała, Łyko 2013]
	Separacja kriogeniczna	- bardzo niskie temperatury do -100 ^{0}C i wysokie ciśnienie ok. 40 bar	do 99% [Biernat, Samson-Bręk 2011]

Tabela 5. Metody odsiarczania biogazu – cz. 2 [opracowanie własne].

Metoda	Proces lub technika	Zastosowanie	Zakres wydajności odsiarczania biogazu,
Chemiczna	Absorpcja	- związki żelaza: a) ruda darniowa (porowata skała osadowa).	do 90% [Kociołek-Balawejder, Wilk 2011; Cebula 2012; Gaj, Cybulska-Szulc 2014; Żarczyński i in. 2014; Gaj i in. 2008]
	Membranowe (porowate lub dyfuzyjne)	- potencjał chemiczny roztworów lub mieszanin.	do 99% [Żarczyński i in. 2014; Cosoli i in. 2008]
	Adsorpcja (mokra)	- roztwór sody kaustytcznej; - wodny roztwór alkanoloamin; - roztwór chlorku żelaza.	(95÷99) % [Aleksandrow, Staniszewska 2013; Barbusiński 2006]
Biologiczna	Utlenianie	- dostarczanie powietrza do biogazu.	powyżej 95% [Kociołek-Balawejder, Wilk 2011; Żarczyński i in. 2014]
	Reakcja mikrobiologiczna	- bakterie z rodziny Thiobacillus wytwarzające siarkę elementarną.	(80÷99) % [Cebula, Sołtys 2012]

Tabela 6. Metody odsiarczania, szczególnie dla biogazu rolniczego z uwagi na przebieg procesu fermentacji [opracowanie własne].

Odsiarczanie	Przebieg procesu	Zastosowanie	Zakres wydajności odsiarczania biogazu
chemiczne	w fermentatorze	- związki chemiczne, tj. chlorki żelaza III i II; - wodorotlenek sodu; - wodorotlenku żelaza [Kujawski 2010].	(80÷99) % [Cebula, Sołtys 2012]
	poza fermentatorem	- ług (najczęściej wodorotlenek sodu) [Gattermann i in. 2010].	do 94% [Kociołek-Balawejder, Wilk 2011]
biologiczne	w fermentatorze	-w obecności tlenu (który doprowadzany jest do fermentatora poprzez wdmuchiwanie powietrza, np. przy pomocy niewielkiego kompresora) oraz bakterii Sulfobacter oxydans [Gattermann i in. 2010].	(80÷99) % [Cebula, Sołtys 2012]
	poza fermentatorem	- bioskrubery; - biofiltry; - biofiltry z warstwą nawadniającą.	(70÷98) % [Cebula 2009] do 95% [Brudniak i in. 2013] do 95% [Brudniak i in. 2013]

5.3. Podsumowanie - odsiarczanie biogazu rolniczego

W pracy przedstawiono wstępne wyniki badań eksperymentalnych w zakresie odsiarczania biogazu rolniczego na przykładzie średniej dobowej produkcji biogazu rolniczego oraz składu jakościowego biogazu rolniczego wytwarzanego z gnojowicy świńskiej. Wyniki pomiarów wskazują na wyraźny wpływ odsiarczania biogazu surowego na potrzeby oceny przepływu biogazu autorską techniką adsorpcyjno-absorpcyjną w kontekście oczyszczania biogazu rolniczego.

Wykazano, że:

1) Zastosowana technika odsiarczania surowego biogazu rolniczego znacząco przyczynia się do oczyszczania oczyszczonego biogazu;
2) Sposób wykorzystania złoża ziarnistego w odsiarczach znacznie usprawnia proces odsiarczania biogazu surowego, w przypadku biogazu wysokokalorycznego w 100% odsiarczonego oraz w kogeneracji na energię elektryczną i ciepło;
3) Surowy biogaz może być łatwo i niezawodnie oczyszczany i produkowany w pobliżu budynków inwentarskich.

•Piskowska-Wasiak, J. 2014. Uzdatnianie biogazu do parametrów gazu wysokometanowego [Treatment of biogas to the parameters of high-methane gas]. Nafta-Gaz, 2,70, 94-105.

•Kociołek-Balawejder, E.; Wilk, Ł. 2011. Przegląd metod usuwania siarkowodoru z biogazu [Review of methods for removing hydrogen sulphide from biogas]. Przemysł Chemiczny, (3)90, 389-397.

•Cebula, J. 2012. Wybrane metody oczyszczania biogazu rolniczego i wysypiskowego [Selected methods of agricultural and landfill biogas treatment]. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice. ISBN 978-83-7335-983-3.

•Aleksandrow, S.; Staniszewska, M. 2013. Znaczenie odnawialnych źródeł energii w globalnej gospodarce oraz ich wpływ na rynek pracy [The importance of renewable energy sources in the global economy and their impact on the labor market]. Acta Innovations, 6, 41-45.

•Pomykała, R.; Łyko, P. 2013. Biogaz z odpadów biopaliwem dla transportu - bariery i perspektywy [Biogas from waste as biofuel for transport - barriers and prospects]. Chemik, 5, 454-457.

•Gaj, K.; Cybulska-Szulc, H. 2014. Time changeability model of the bog ore sorption ability. Ecological Chemistry and Engineering S, (1)21, 113-123.

•Żarczyński, A.; Rosiak, K.; Anielak, P.; Wolf, W. 2014. Praktyczne metody oczyszczania biogazu z siarkowodoru. Cz. 1. Zastosowanie sorbentów stałych [Practical methods of purifying biogas from hydrogen sulphide. Part. 1. Application of solid sorbents]. Acta Innovations, 12, 24-35; http://www.proakademia.eu/gfx/baza_wiedzy/255/praktyczne_metody_oczyszczania_biogazu_z_siarkowodoru.pdf.

•Biernat, K.; Samson-Bręk, I. 2011. Przegląd technologii oczyszczania biogazu do jakości gazu ziemnego [Review of biogas purification technology to natural gas quality]. CHEMIK, 65, 5, 435-444

•Gaj, K.; Cybulska-Szulc, H.; Knop, F.; Steininger, M. 2008. Examination of biogas hydrogen sulphide sorption on a layer of activated bog ore. Environment Protection Engineering, 4(34), 33-41.

•Cosoli, P.; Ferrone, M.; Pricl, S.; Fermeglia, M. Hydrogen sulphide removal from biogas by zeolite adsorption. Part I. GCMC molecular simulations, *Chemical Engineering Journal* **2008**, 145, 86-92.

•Barbusiński, K. 2006. Nadtlenki wapnia i magnezu – zastosowanie do celów komercyjnych i w ochronie środowiska [Calcium and magnesium peroxides - application for commercial purposes and in environmental protection]. Chemik, 9, 433-438.

•Cebula, J.; Sołtys, J. 2012. Usuwanie lotnych związków siarki z biogazu wytwarzanego w mikrobiogazowni rolniczej z wykorzystaniem sorbentu haloizytowego [Removal of volatile sulfur compounds from biogas produced in an agricultural micro biogas plant with the use of halloysite sorbent]. Bałtyckie Forum Biogazu, referat, wrzesień, http://www.imp.gda.pl/BF2012/prezentacje/p254.pdf

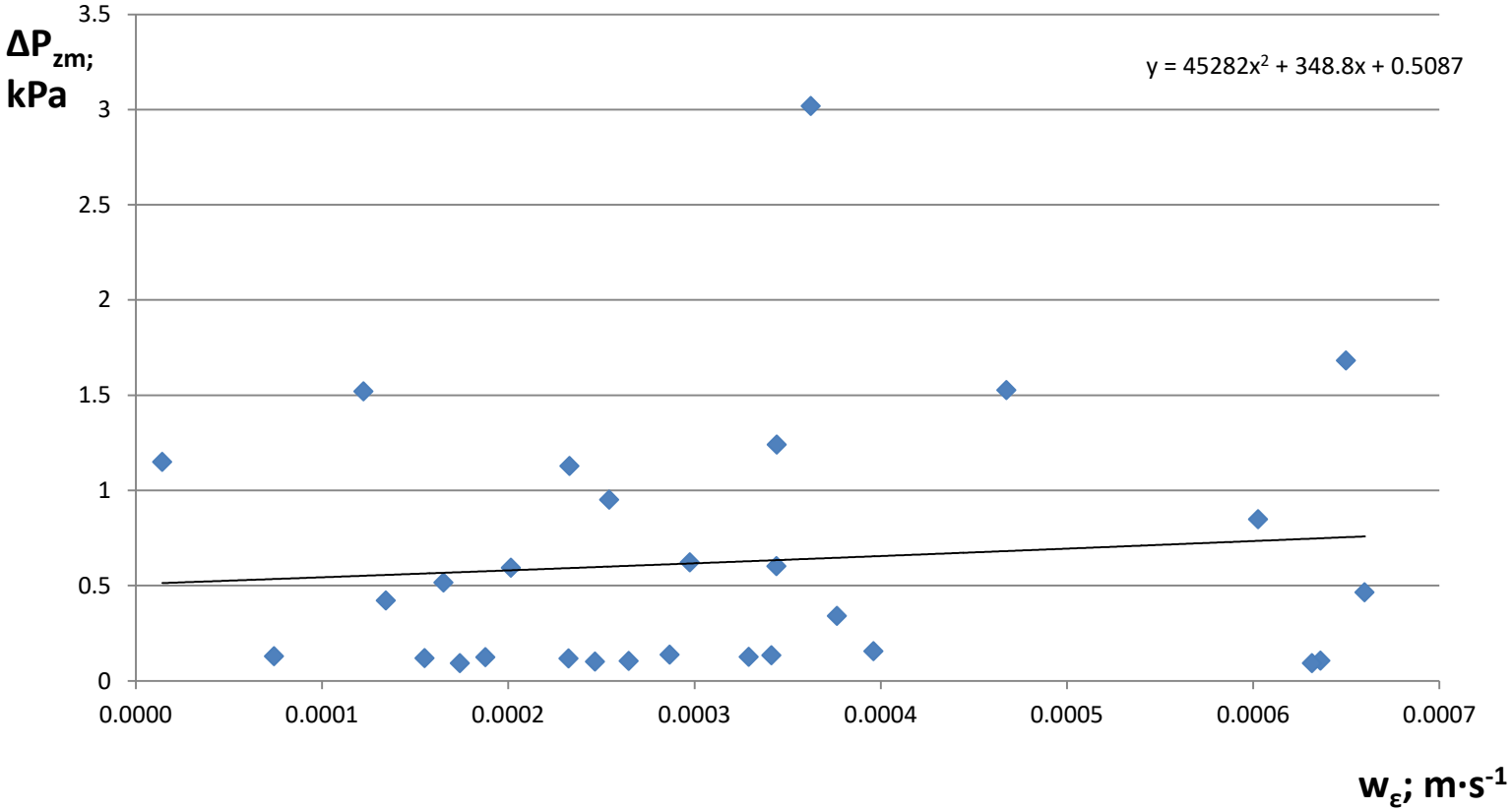
•Kujawsk,i O. 2010. Przegląd technologii produkcji biogazu (część trzecia) [Overview of biogas production technology (part three)]. Czysta Energia, nr 102.

•Gattermann, H.; Kaltschmitt, M.; Niebaum, A.; Schattauer, A.; Scholwin, F.; Weiland, P. 2010. Produkcja i wykorzystanie biogazu. Institut für Energetik und Umwelt GmbH,. http://www.ieo.pl/pl/ aktualnosci/183-produkcjabiogazu.html, 10.12.2014

•Cebula, J. 2009. Biogaz purification by sorption techniques. Architecture Civil Engineering Environment, 2, 95-103.

•Brudniak, A.; Dębowski, M.; Zieliński, M. 2013. Oczyszczanie i wzbogacanie biogazu w zawiesinie popiołowowodnej [Purification and enrichment of biogas in ash-water suspension]. Inżynieria Ekologiczna, 32, 7-16.

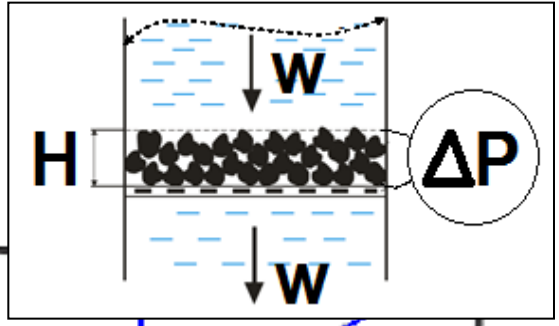
Rozkład punktów doświadczalnych

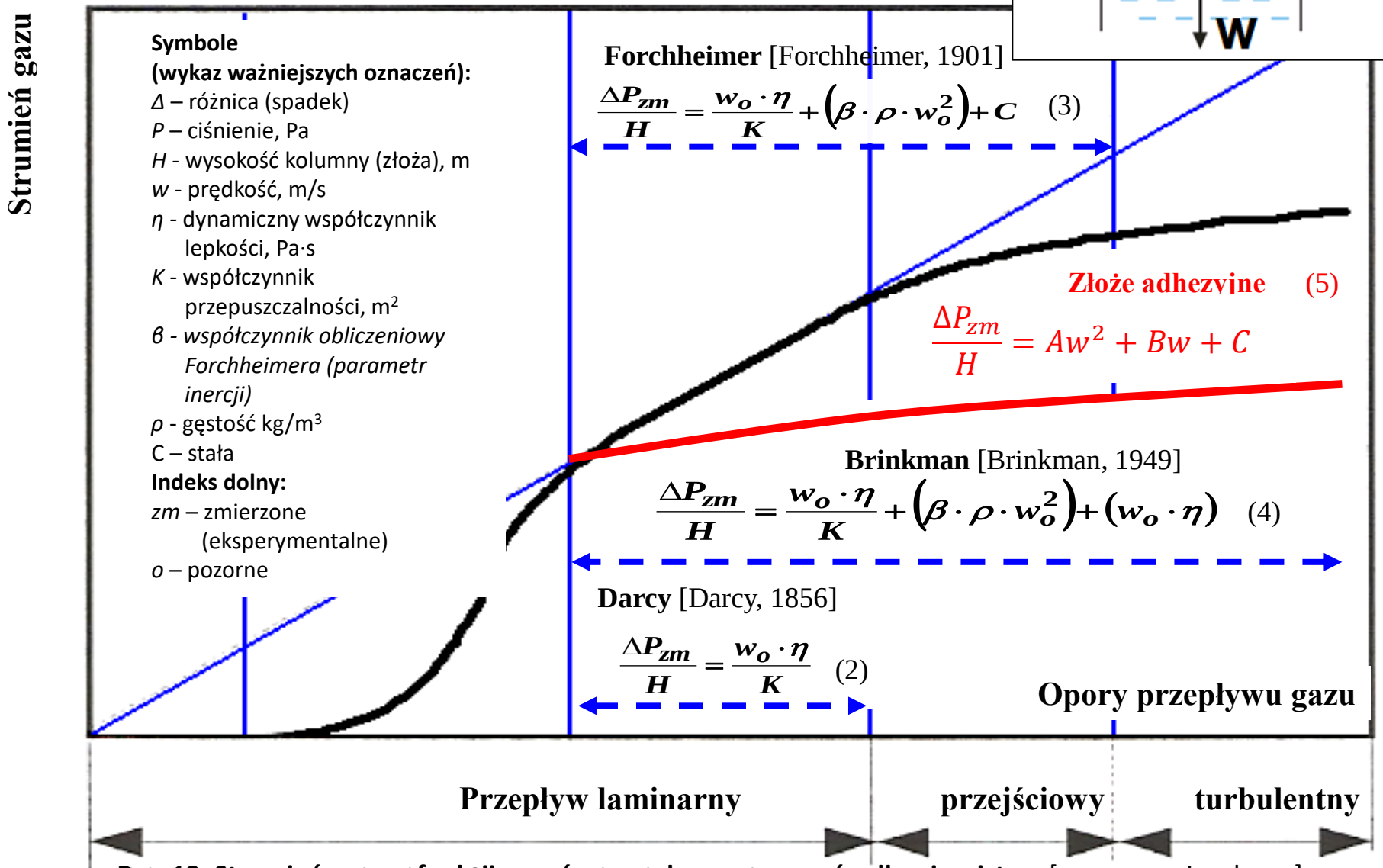


$$w_\varepsilon = \frac{\dot{Q}_g}{A_\varepsilon} \quad (1)$$

Rys. 21. Wpływ prędkości pozornej (w_ε) na opory przepływu (ΔP) biogazu dla złoża adhezyjnego [opracowanie własne]

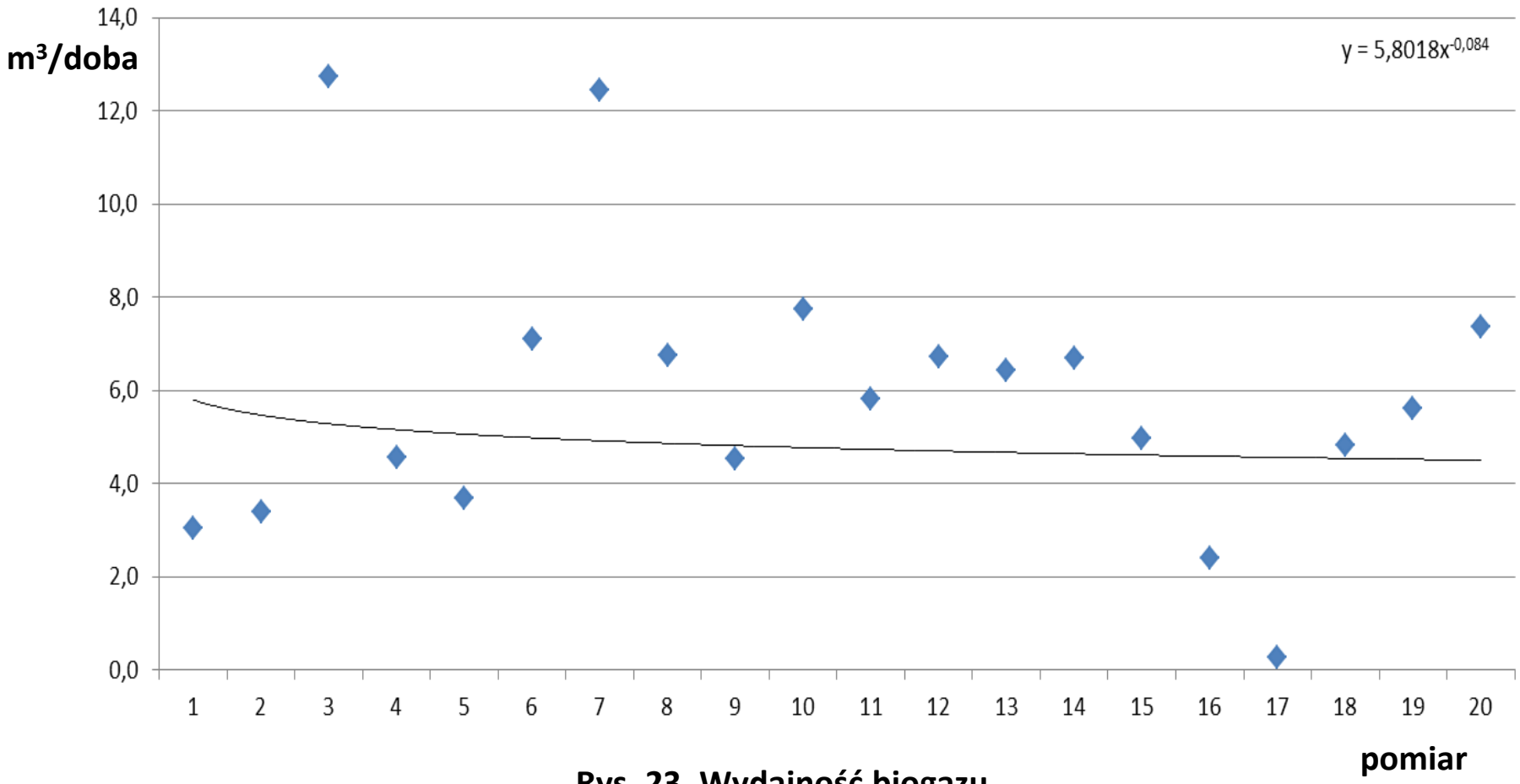
6.1. Interpretacja hydrodynamiki przepływu gazu w ujęciu matematycznym



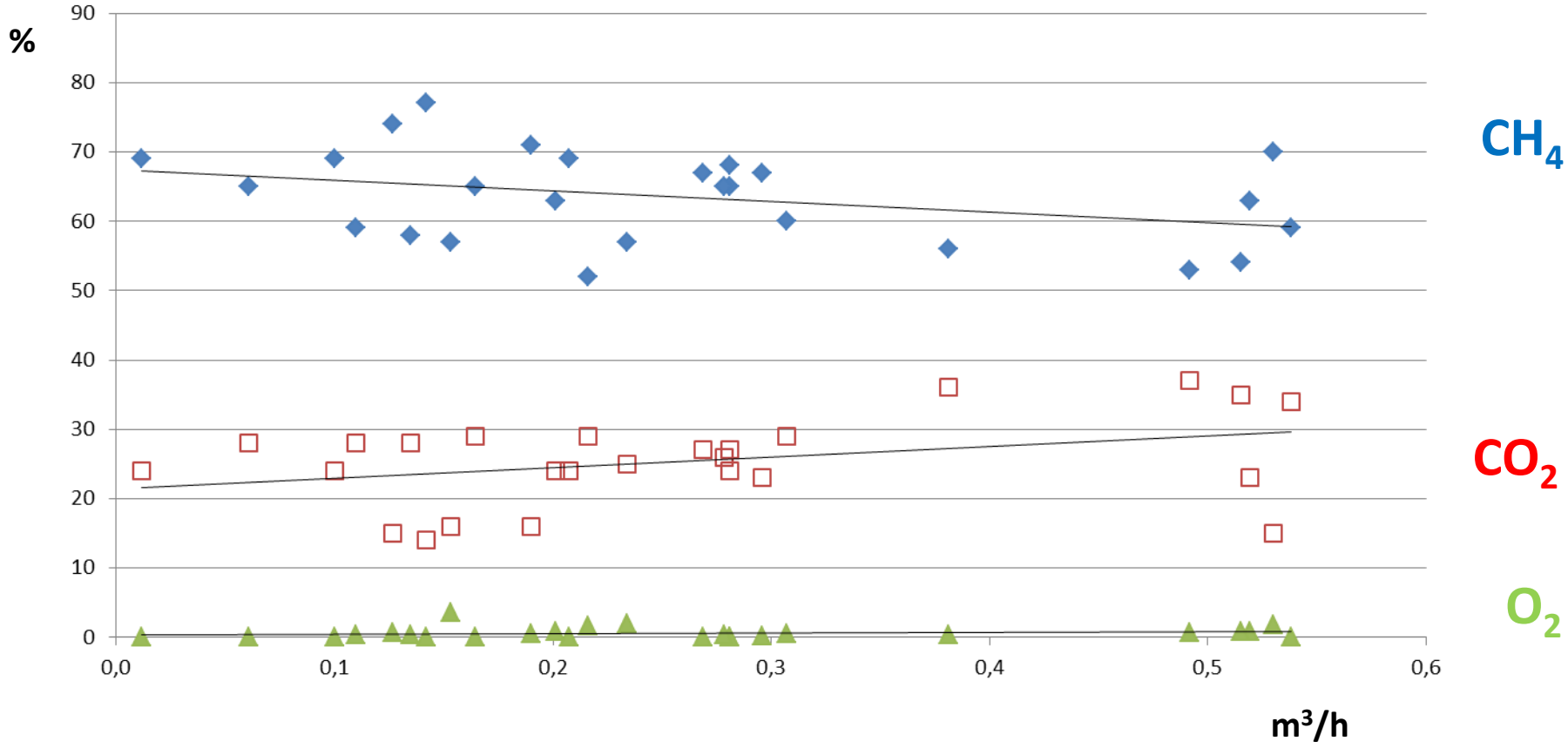


Rys. 12. Strumień gazu w funkcji oporów przepływu gazu w ośrodku ziarnistym [opracowanie własne]

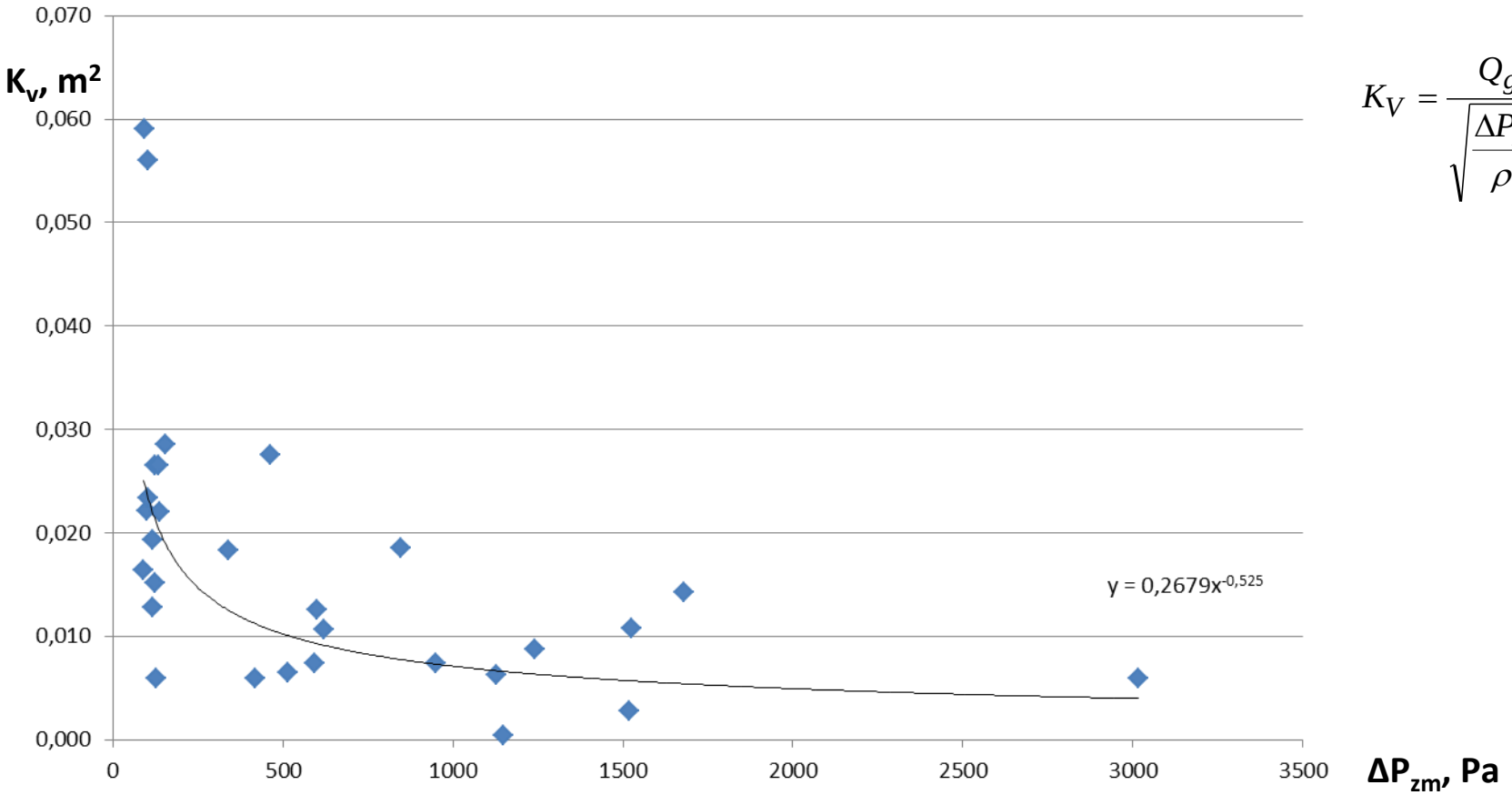
Rozkład punktów doświadczalnych



Rys. 23. Wydajność biogazu

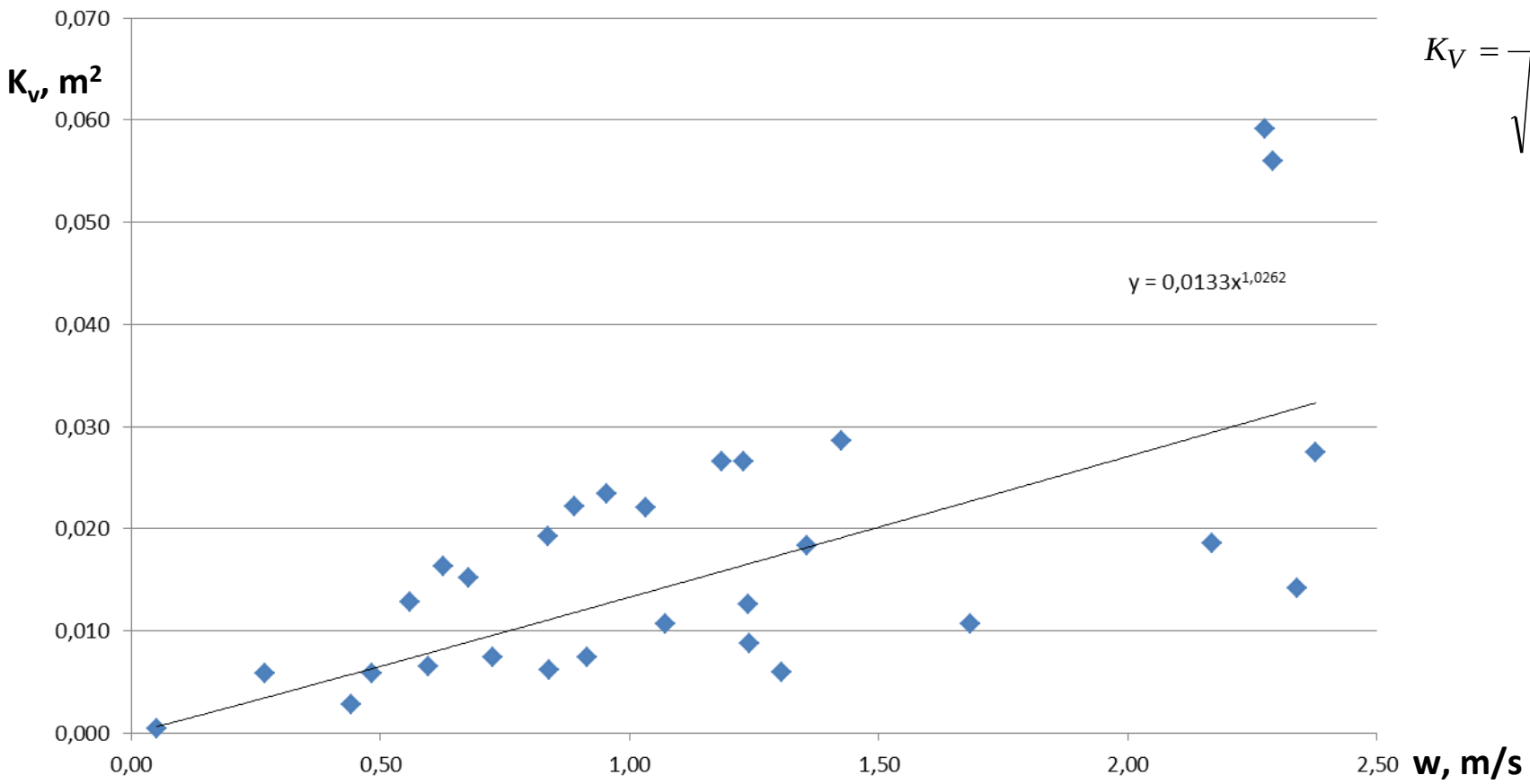


Rys. 24. Wydajność biogazu w odniesieniu do składu biogazu



$$K_V = \frac{Q_g}{\sqrt{\frac{\Delta P_{zm}}{\rho_g}}}$$

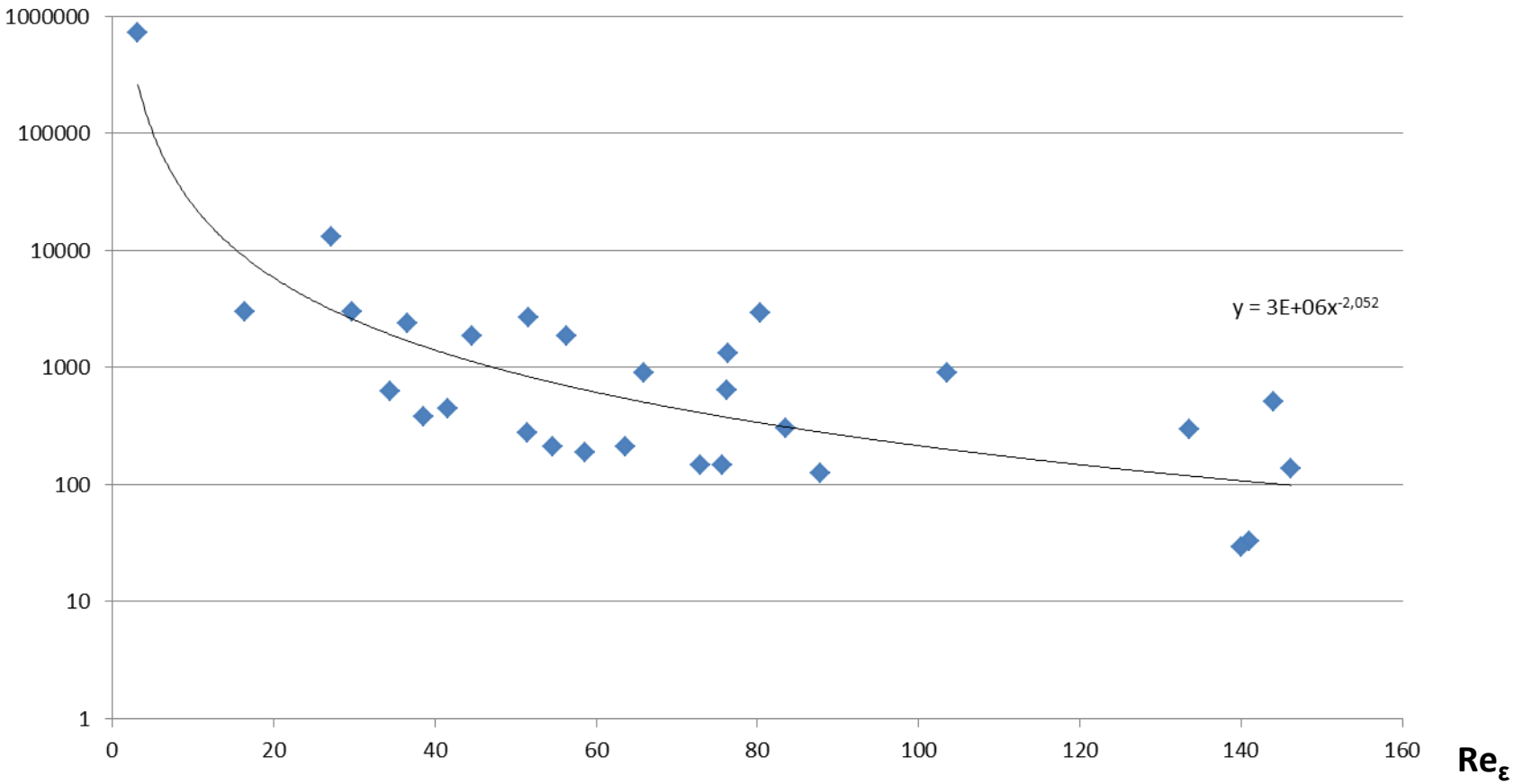
Rys. 25. Wpływ oporów przepływu na współczynnik gazoprzepuszczalności złoża



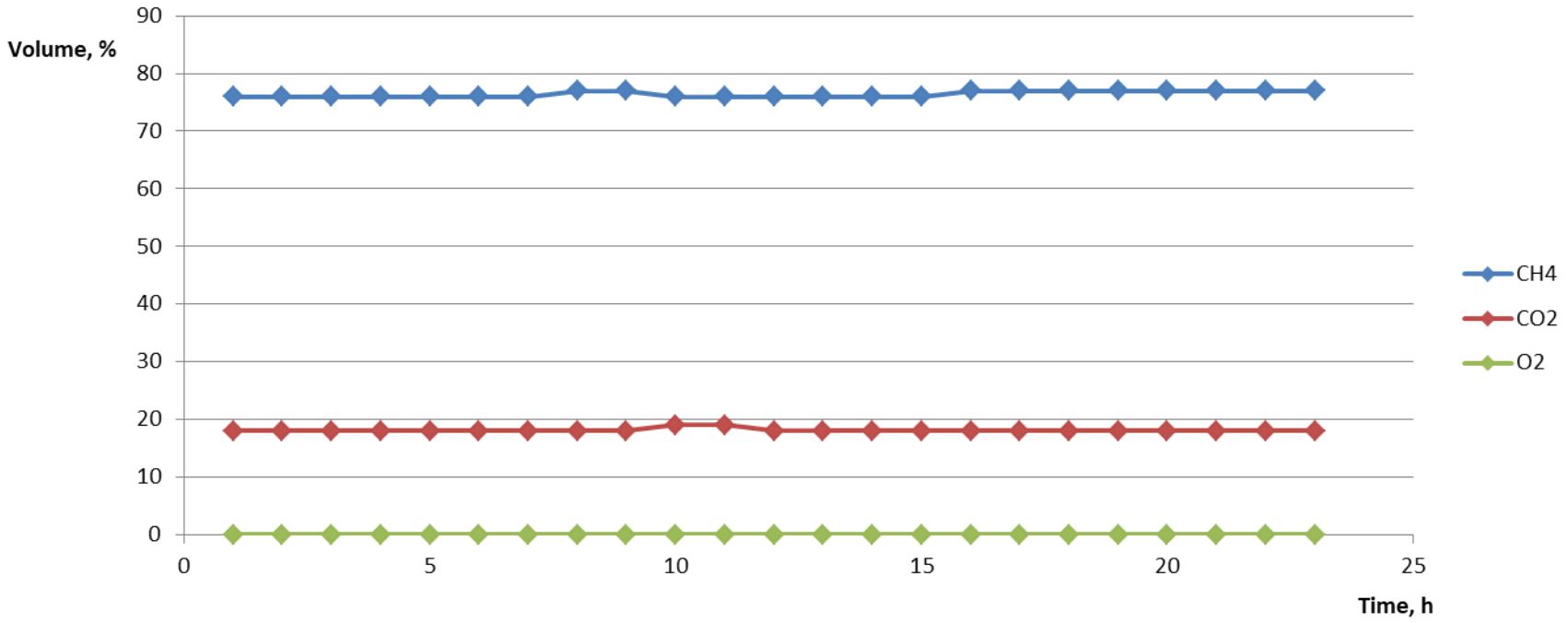
$$K_V = \frac{Q_g}{\sqrt{\frac{\Delta P_{zm}}{\rho_g}}}$$

Rys. 26. Wpływ prędkości biogazu na intensywność gazoprzepuszczalności złoża szkieletowego

$$\xi_\varepsilon = \frac{2}{\rho_g w_\varepsilon^2} \Delta P_{zm} \qquad \mathrm{Re}_\varepsilon = \frac{w_\varepsilon d_\varepsilon^* \rho_g}{\eta}$$

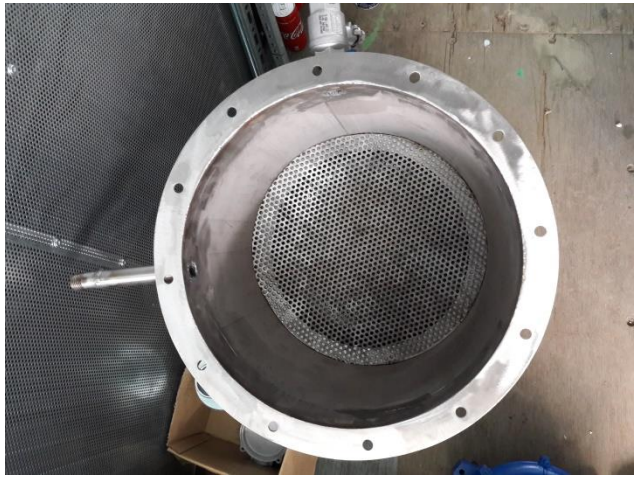


Rys. 27. Wpływ liczby Reynoldsa na zstępczy współczynnik oporów dla przepływu biogazu

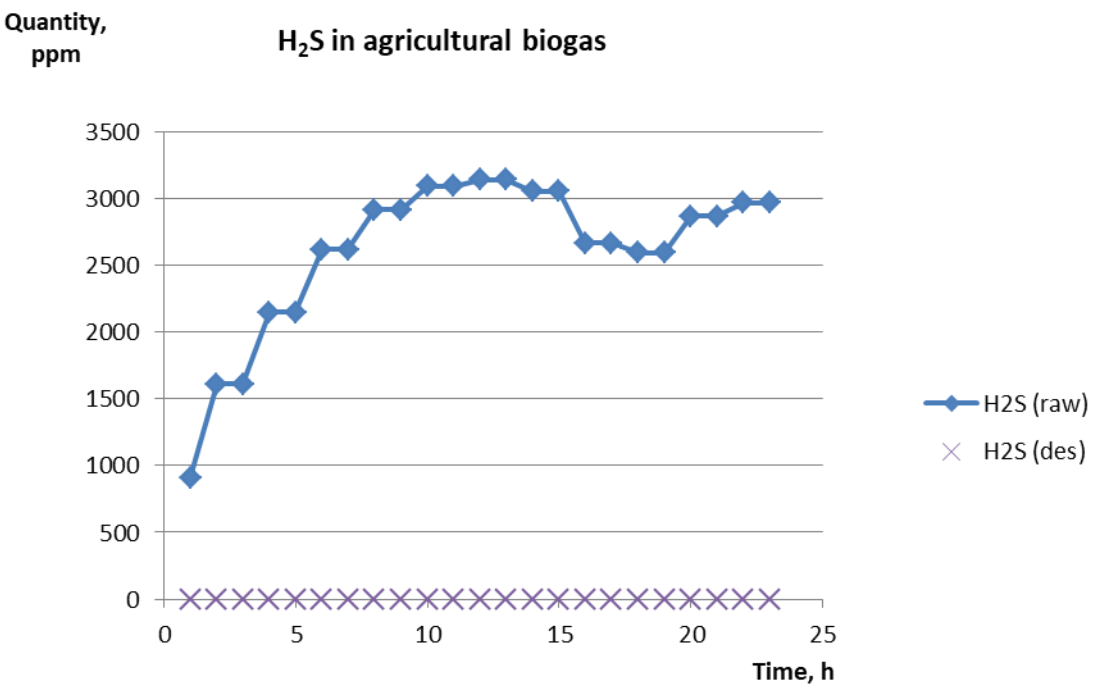


Rys. 28. Skład biogazu rolniczego wyprodukowanego z substratu polidyspersyjnego (gnojowicy świńskiej) [opracowanie własne] - **objętość CH_4, CO_2, O_2**

a)

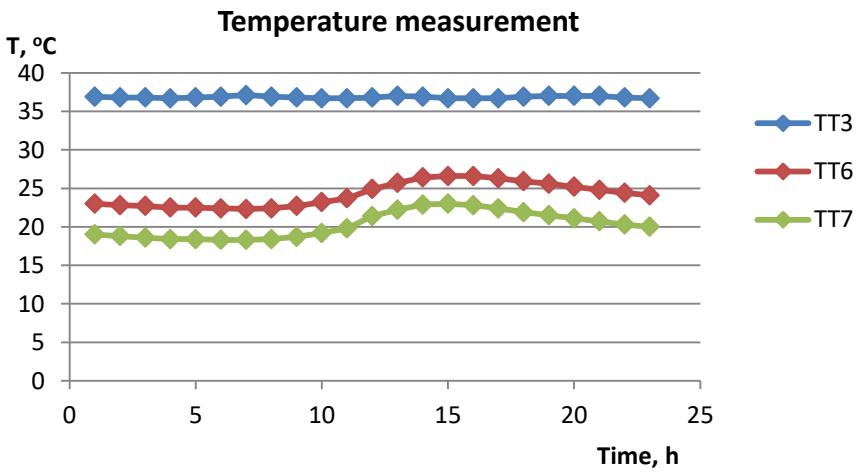


b)

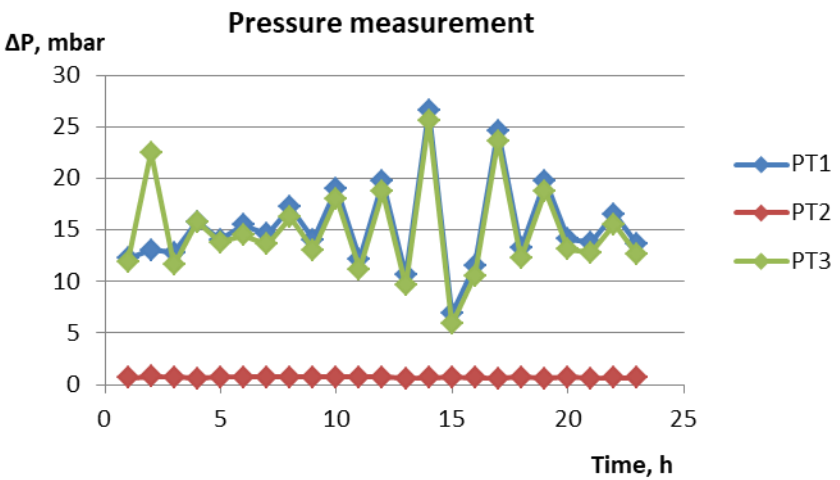


Rys. 29. Odsiarczanie surowego biogazu: a) odsiarczalnik – wnętrze (fotografia G. Wałowski); b) wykres obrazujący ilość H_2S w biogazie rolniczym wyprodukowanym z substratu polidyspersyjnego (gnojowicy świńskiej) [opracowanie własne]: H_2S (raw) – dla surowego biogazu; H2S (des) – dla odsiarczonego biogazu.

a)



b)



Rys. 30. Parametry procesowe biogazu rolniczego:

a) temperature measurement - measurement points in accordance with the process diagram- necessary for the production and desulphurization of agricultural biogas produced from a polydisperse substrate (pig slurry) [own elaboration]: TT3 - measurement inside the fermentor; TT6 - measurement before desulphurizer; TT7 - measurement after desulfurizer;

b) pressure measurement - measuring points according to the process diagram - necessary for the production and desulphurization of agricultural biogas produced from a polydisperse substrate (pig slurry) [own elaboration]: PT1 - measurement inside the fermentor; PT2 - measurement before desulfurizer; PT7 - measurement after desulphurizer.

a)

b)

c)

Rys. 31. Kogenerator wielopaliwoy [fotografia G. Wałowski]: a) widok w kontenerze, b) sterowanie - widok , widok po demontażu kogeneratora.

a)

b)

Rys. 32. Kogenerator na biogaz [fotografia G. Wałowski]: a) widok przed montażem, b) widok po montażu.

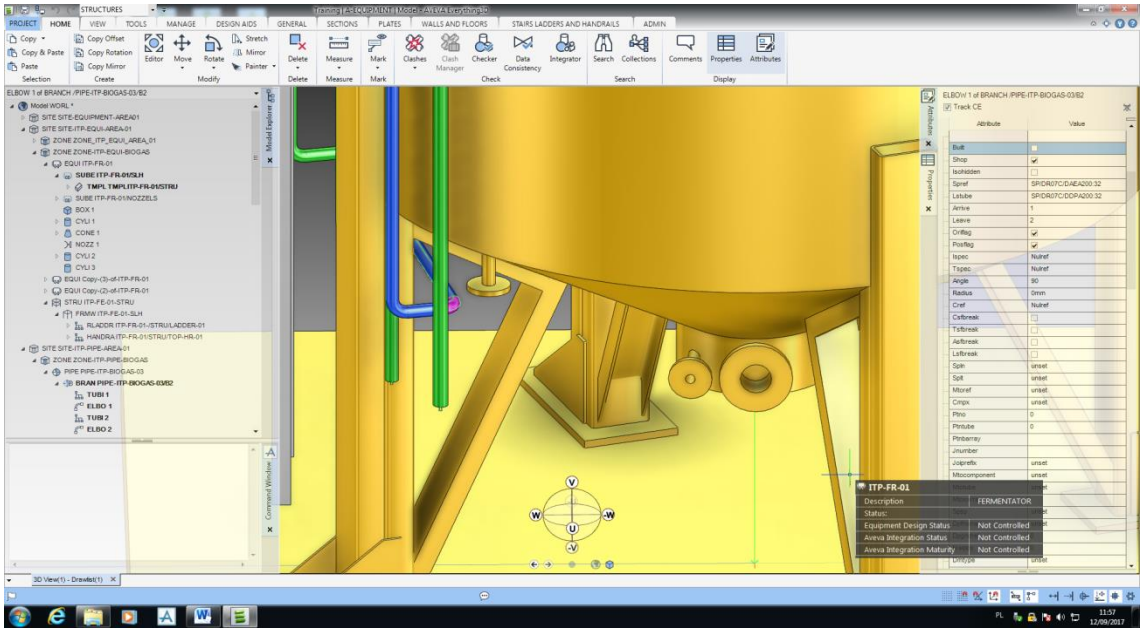
8. Biogazownia
- wizualizacja fermentatora

Opracowano:

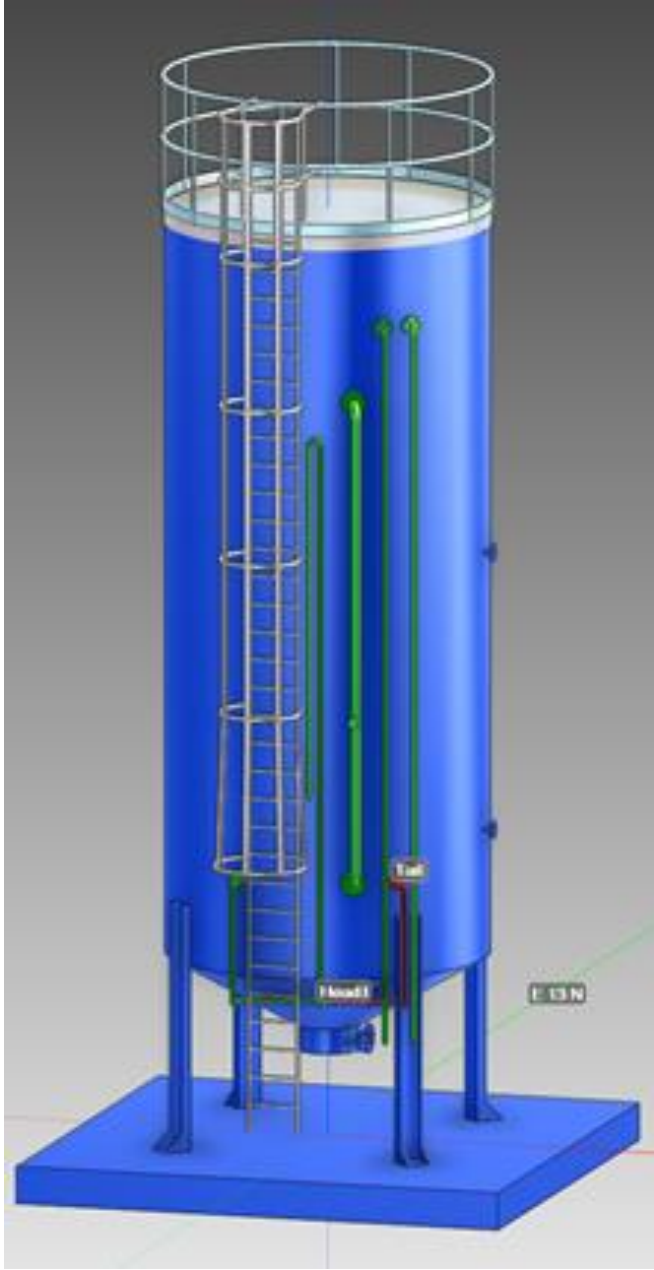
- schemat P&ID i model 3D;

- integrację schematu ze środowiskiem modelu i tworzenie rurociągów mechanizmami Integratora dla reaktora monosubstratowego.

a)

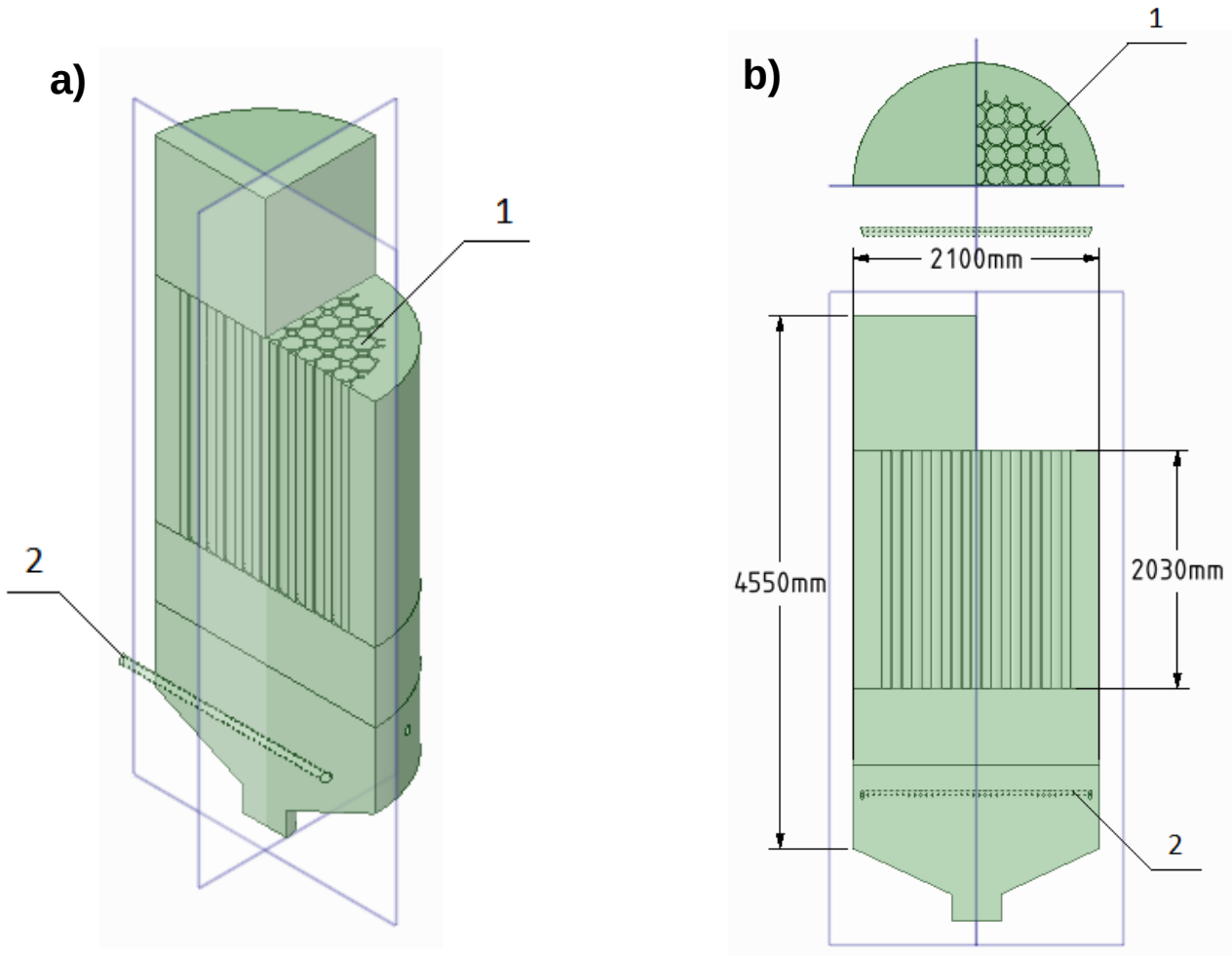


b)

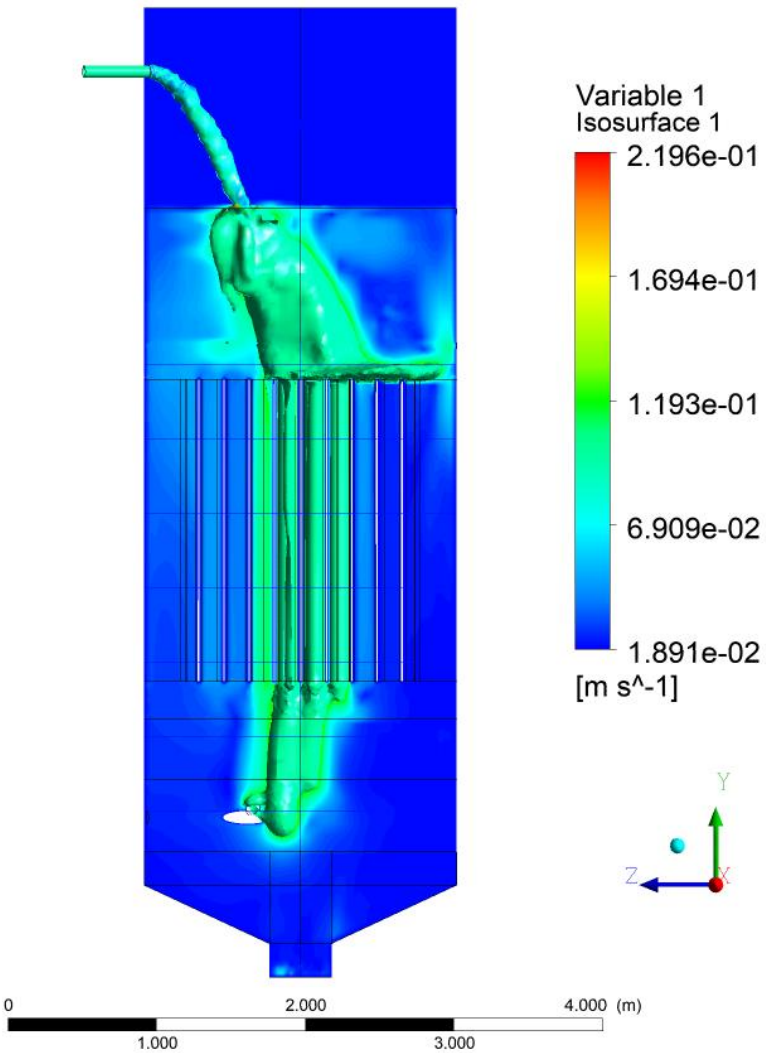


Rys. 33. Wizualizacja - AVEVA 3D Integrator: a) fragment dna, b) reaktor monosubstratowy.

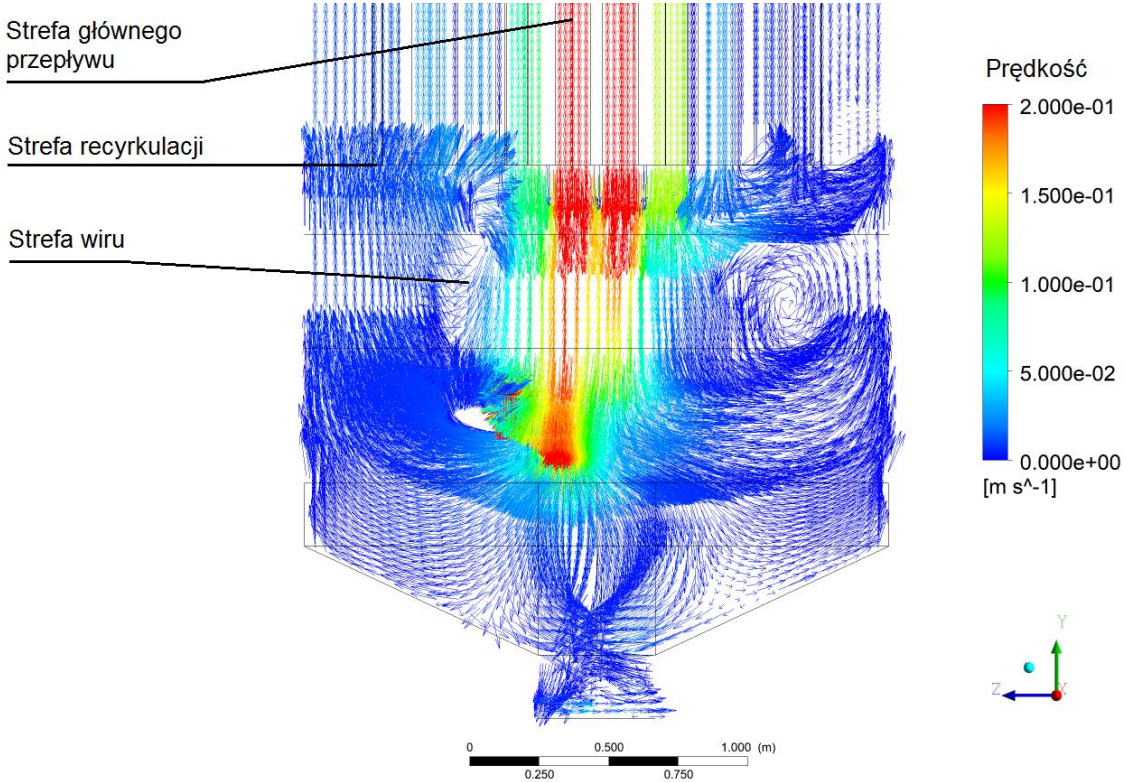
8.1. Ocena hydrodynamiki przepływu płynu w fermentatorze przez strukturę szkieletową, w aspekcie numerycznego modelowania - *Computational Fluid Dynamics* (CFD)



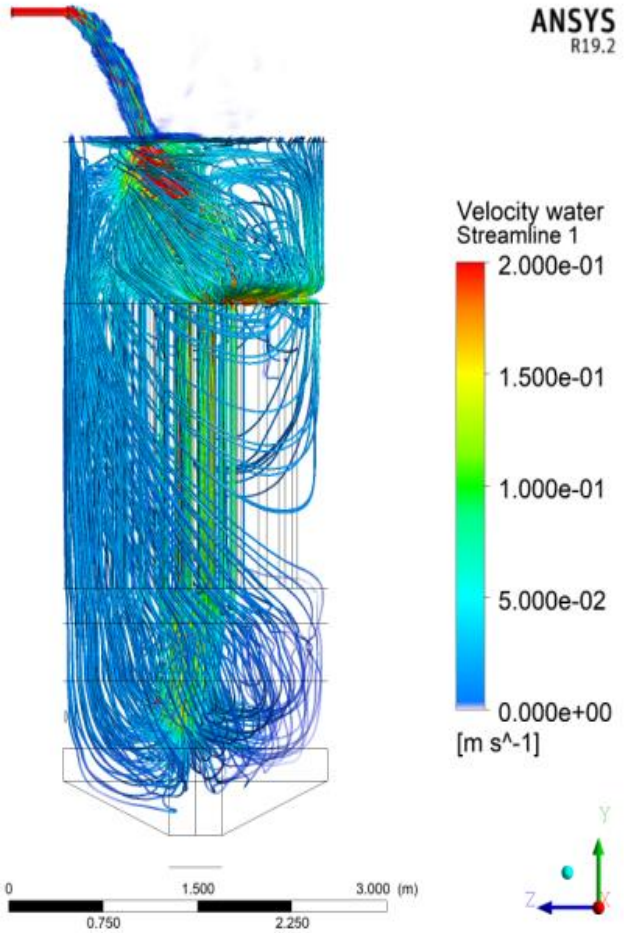
Rys. 34. Geometria analizowanego fermentatora, 1- złoże szkieletowe, 2 - barbotka [opracowanie własne]: **a) widok przekroju w osi pionowej dla 3D, b) rzut w pzrekroju w osi pionowej.**



Rys. 35. Izopowierzchnia – widok jakości głównego obszar mieszania i miejsca występowania największych prędkości [opracowanie własne].



Rys. 36. Wektory prędkości na przekroju Y-Z, widok strefy recyrkulacji [opracowanie własne].



Rys. 37. Linie prądu – widok strefy recyrkulacji [opracowanie własne].

1) Uwzględniając fazę rozruchu trwająca 10 dób otrzymano 80% metanu co stanowi o bardzo wysokiej jakości biogazu .
2) Dużym wyzwaniem jest adoptowanie mikroorganizmów dla produkcji biogazu w warunkach procesowych dla instalacji demonstracyjnych, które związane są z bardzo zróżnicowaną strukturą materiałów o powierzchni chropowatej, zwłaszcza w kontekście kształtu złoża adhezyjnego, które umożliwia immobilizację mikroorganizmów metanogennych.
3) Obecnie trwa proces fermentacji beztlenowej, gdzie przeprowadzana jest optymalizacja instalacji pilotażowej .
4) Stwierdzono, że na hydrodynamikę przepływu gazu przez złoże porowate wpływ mają tak charakterystyczne parametry jak chropowatość (porowatość) złoża oraz jego struktura – w tym przypadku „model kapilarny”.

5) Uwzględniając parametry procesowe płynu: ciśnienie i prędkość przepływu, wskazano na kryteria przepływu biogazu w złożu dokonując interpretacji hydrodynamiki
przepływu gazu w ujęciu matematycznym.

6) Opracowano model geometrii fermentatora beztlenowego, dla którego zasymulowano przepływ w strutkurze porowatej (kapilarnej) przy użyciu narzędzia do modelowania 3D (oprogramowanie ANSYS Fluent).

7) Wskazano na główny przepływ tyko w tzw. „rdzeniu złoża kapilarnego”, natomiast zaobserwowano recyrkulację przepływu poza „rdzeniem”, czyli w większości objętości fermentatora.

10. Literatura

Aksielrud G.A., Altszuler M.A., 1987. *Ruch masy w ciałach porowatych*, WNT, Warszawa

Brinkman H. C., 1949. A calculation of the viscous force exerted by a flowing fluid on a dense swarm of particles. Applied Scientific Research, 1, 27-34

Burdine N.T. ,1953. *Trans. Am. Inst. Min. Eng.*, 198, 71

Darcy H., 1856. Les fontaines publiques de la ville de Dijon. Paris: Victor Valmont

Fitzner B., 1993. Porosity properties and weathering behaviour of natural stones-Methodology and examples, In: Papers collection of the Second Course Stone material in monuments, diagnosis and conservation, Heraklion-Crete, Scuola Universitaria C.U.M., Bari, 43

Forchheimer P., 1901. Wasserbewegung durch Boden. [Water movement through soil]. Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieuer, 5(5), 1781-1788

Hagoort J., 1988. Fundamentals of Gas Reservoir Enginnering, Developments in Petroleum Science 23, Elsevier, Amsterdam.

Jędrczak A., 2001, Przegląd Komunalny, 6

Maślankiewicz P., Wojciechowski H., 2012. Sposób intensyfikacji przemian biochemicznych we wnętrzu składowiska odpadów komunalnych i/lub przemysłowych i urządzenie do intensyfikacji przemian biochemicznych we wnętrzu składowiska odpadów komunalnych i/lub przemysłowych. Polska. Zgłoszenie patentowe P.399417 z dnia 04.06.2012 r.

Niezgoda T., Miedzińska D., Sławiński G., Gieleta R., Derewońko A., Morka A., Kędzierski P., 2012. Mat. I Krajowej Konferencji nt Propozycje wdrożeń odnawialnych źródeł energii na obszarze Polski, Białystok

Nogal M., 2007. Sposób intensyfikacji procesu fermentacji metanowej osadów ściekowych w zamkniętych komorach fermentacyjnych i układ konstrukcyjny do stosowania tego sposobu. Polska. Zgłoszenie patentowe P.383234 z dnia 31.08.2007 r.

Nogal M., 2015. Lanca magnetyczna do intensyfikacji pracy zamkniętych komór fermentacyjnych. Polska. Zgłoszenie patentowe P. 415295 z dnia 14.12.2015 r.

Oniszk-Popławska A., Matyka M., 2012. Raport końcowy z badania dziedzinowego. „Kompleksowa ocena uwarunkowań w zakresie produkcji biogazu w województwie lubelskim”. Regionalny System Zarządzania Zmianą Gospodarczą

10. Literatura

Pawłowska M., Siepak J., Pawłowski L. Pleczyński J., 2008. Sposób intensyfikacji produkcji metanu na składowiskach odpadów komunalnych. Zgłoszenie patentowe P. 385337 z dnia 02.06.2008 r.

Pleczyński J., Pawłowska M., Siepak J., Pawłowski L., 2008. Sposób wykorzystania osadów ściekowych do intensyfikacji produkcji biogazu na składowiskach odpadów komunalnych. Polska. Zgłoszenie patentowe P.385336 z dnia 02.06.2008 r.

Rogut J., Wiatowski M., Grzelak A., 1999. Sposób intensyfikacji procesów fermentacji anaerobowej do biogazu i amoniaku stężonych ścieków organicznych, zwłaszcza gnojowicy. Polska. Zgłoszenie patentowe P.335309 z dnia 06.09.1999 r.

Romaniuk W., Biskupska K. 2014. Biogazownia rolnicza krok po kroku. Warszawa. Hortpress. ISBN 978-83-61574-58-3, 3-32.

Romaniuk W., Głaszczka A., Biskupska K. 2012. Analiza rozwiązań instalacji biogazowych dla gospodarstw rodzinnych i farmerskich. Inżynieria w rolnictwie, Monografie nr 9, Falenty, wyd. ITP, 94.

Simons G.A., 1995. Pore structure model for water and contaminant transport in soil. Report 19951101-095, 1

Wałowski G., Borek K., Romaniuk W., Wardal W.J., Borusiewicz A. 2019. Nowoczesne systemy pozyskania energii - biogazu. MONOGRAFIA pod redakcją naukową prof. dr hab. inż. Wacława Romaniuka. Warszawa, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Agrobiznesu w Łomży, ISBN 978-83-947669-9-3

Technologia produkcji biogazu

Energia z biogazu i biomasy - część II

Zagadnienia:
- czym jest biomasa i biogaz?
- jak powstaje, jak się spala?
- jakie daje korzyści?
- jakie są wady i zalety?
- czy jest to alternatywa dla klasycznych surowców energetycznych?
- czy może mieć udział w zapewnieniu, częściowo bezpieczeństwa energetycznego?

Dziękuję za uwagę

dr hab. inż. Grzegorz Wałowski, prof. ITP.-PIB
walowski.g@gmail.com

g.walowski@itp.edu.pl