



Nowatorska produkcja energii w biogazowni poprzez  
użytkowanie pomiotu drobiowego  
z zamianą substratu roślinnego na algi



# Potencjał metanowy wybranych substratów

Monika Suchowska-Kisielewicz, Zofia Sadecka  
Uniwersytet Zielonogórski  
Instytut Inżynierii Środowiska

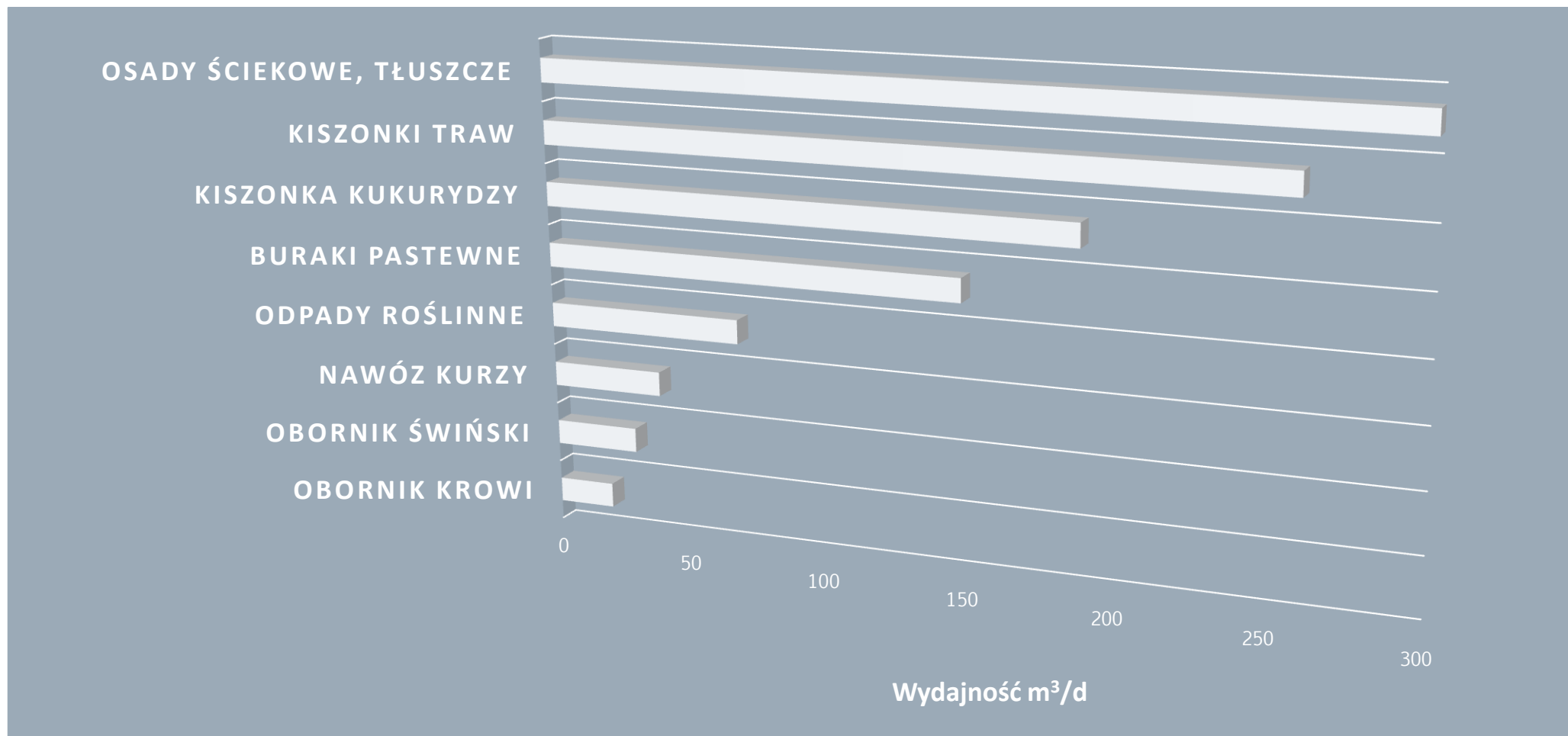
Projekt dofinansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju  
oraz Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w ramach Programu  
Gekon – Generator Koncepcji Ekologicznych

$\pi$

# Efektywność fermentacji metanowej

- › O prawidłowym przebiegu fermentacji decyduje skład fizykochemiczny substratów i ich podatność na rozkład biologiczny oraz warunki środowiskowe procesu tj.:
  - › stężenie i rodzaj mikroorganizmów
  - › pH, temperatura, potencjał utleniająco-redukcyjny, zasadowość,
  - › zawartość lotnych kwasów organicznych (LKT) i składników pokarmowych (C/N),
  - › zawartość związków toksycznych,
  - › czy też poziom rozdrobnienia substratów.

# Efektywność fermentacji metanowej



# Ko-fermentacja

- › Efektywność fermentacji można zwiększyć przez stosowanie procesu ko-fermentacji - mieszaniny dwóch lub kilku składników połączonych w jednorodną mieszaninę.
- › Proces ko-fermentacji umożliwia optymalizację składu substratów, a w szczególności:
  - › zawartości suchej masy,
  - › zawartości suchej masy organicznej,
  - › proporcji C/N,
  - › stężenia inhibitorów.

## Korzyści procesu ko-fermentacji

- › stabilizacja procesu przez odpowiednią kompozycję wsadu,
- › regulacja ilorazu C/N,
- › wykorzystywanie biomasy odpadowej,
- › kontrola ilości wprowadzanego węgla biodegradowalnego,
- › wzrost dobowej produkcji biogazu z jednostkowej objętości reaktora,
- › zwiększenie zawartości metanu w biogazie,
- › ograniczenie wpływu inhibitorów,
- › poprawa właściwości nawozowych osadów pofermentacyjnych.

## Wady procesu ko-fermentacji

- › konieczność wprowadzenia etapu bilansowania składu substratów i parametrów procesowych,
- › wprowadzenie etapu wstępnego przygotowania i homogenizacji substratów.

# Podatność na rozkład biologiczny substratów

- › Podatność na rozkład biologiczny mieszanin substratów decyduje o wielkości produkcji biogazu.
- › Szybkość i skuteczność biodegradacji zależy m.in. od:
  - › stężenia substratów,
  - › masy i stopnia zaadaptowania mikroorganizmów,
  - › obecności substancji odżywczych (azotu i fosforu, pierwiastków śladowych),
  - › obecności substancji aktywujących lub hamujących,
  - › warunków środowiskowych (temperatura, pH).
- › Podatność związków organicznych na rozkład biologiczny zależy również od ich właściwości fizycznych i chemicznych np.: lotność czy rozpuszczalność w wodzie.

## Podatność na rozkład biologiczny substratów

- › Podatność substratów na biodegradację można określić wykorzystując testy tlenowe m.in.: statyczny test respiracyjny (**AT<sub>4</sub>**), dynamiczny test respiracyjny (**DT<sub>4</sub>**) lub beztlenowe np. biochemiczny potencjał metanowy (**BMP**).
- › Ocena podatności na rozkład biologiczny przez zastosowanie testu AT<sub>4</sub> jest praktycznym narzędziem, ponieważ wynik uzyskuje się po **4 dobach**, w porównaniu z testem BMP, który wymaga długiego czasu rzędu **21 dób** (częściowa produkcja biogazu) lub **100 dób** (całkowita produkcja biogazu).



# Zakres badań

- › Celem badań było wyznaczenie optymalnego składu mieszaniny **pomiotu kurzego** z ko-substratami do fermentacji metanowej.
- › Ko-substratami w badaniach realizowanego projektu były:
  - › podłoże pieczarek,
  - › łęty pomidorów,
  - › kiszonka kukurydzy,
  - › trawa,
  - › słoma.

# Metodyka badań

- › Optymalny dla procesu fermentacji skład mieszaniny pomiotu kurzego z ko-substratami wyznaczono na podstawie:
  - › składu fizyczno-chemicznego substratów (sucha masa, sucha masa organiczna, iloraz C/N, ChZT ),
  - › podatności na rozkład biologiczny ( $AT_4$ ),
  - › biochemicznego potencjału metanowego (BMP).

# AT<sub>4</sub> – statyczny test respiracyjny

- › Oznaczenie AT<sub>4</sub> wykonano metodą statyczną aparatem Oxi Top. Czas pomiaru aktywności mikrobiologicznej **wynosił 4 doby**. Całkowity czas trwania badania uwzględniał także okres **adaptacji mikroorganizmów** do nowych warunków środowiskowych. Założono, że czas adaptacji mikroorganizmów kończy się, gdy średnia 3-godzinnego pomiaru stężenia tlenu osiągnie 25% wartości najwyższego zapotrzebowania na tlen. Badania prowadzono w stałej **temperaturze 20°C** w szafie termostaticznej.



Zużycie tlenu przez mikroorganizmy obliczono z równania:

$$AT_4 = \frac{M_R(O_2)}{R \cdot T} \cdot \frac{V_{fr}}{m_{Bt}} \cdot \Delta p$$

gdzie:

AT<sub>4</sub> – aktywność biologiczna odpadów, mgO<sub>2</sub>/g s.m.,

M<sub>R</sub> (O<sub>2</sub>) – masa molowa tlenu (32000 mg/mol),

V<sub>fr</sub> – objętość wolnego gazu, dm<sup>3</sup>,

R – ogólna stała gazowa (83,14 hPa mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>),

T – wartość pomiarowa temperatury (293 K),

m<sub>Bt</sub> – sucha masa odpadów w próbce łącznie z frakcją mineralną, g s.m.,

Δp – spadek ciśnienia, hPa.

# BMP – biochemiczny potencjał metanowy

- › Badania biochemicznego potencjału metanowego substratów prowadzono w beztlenowych reaktorach o pojemności 2,5 dm<sup>3</sup>. Proces prowadzono przez okres 30 dób, w temperaturze 37°C w szafie termostaticznej. Powstający biogaz pobierany był z reaktorów za pomocą 300 ml strzykawki. W biogazie określano zawartości: CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NH<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S.



Efektywność rozkładu substratu organicznego (ChZT) do metanu wyznaczano z równania:

$$K_{CH_4} = \frac{(V_{bp} - V_{bk})}{ChZT_s \cdot (395)}$$

gdzie:

$K_{CH_4}$  – konwersja ChZT w metan, %

$V_{bp}$  – całkowita objętość wyprodukowanego metanu w reaktorach, ml

$V_{bk}$  - całkowita objętość wyprodukowanego metanu w reaktorze kontrolnym, ml

$ChZT_s$  – wartość ChZT substratu, g

395 – teoretyczna produkcja metanu z 1 g ChZT ustalona dla warunków standaryzowanych: T=35°C, p=1 atm.

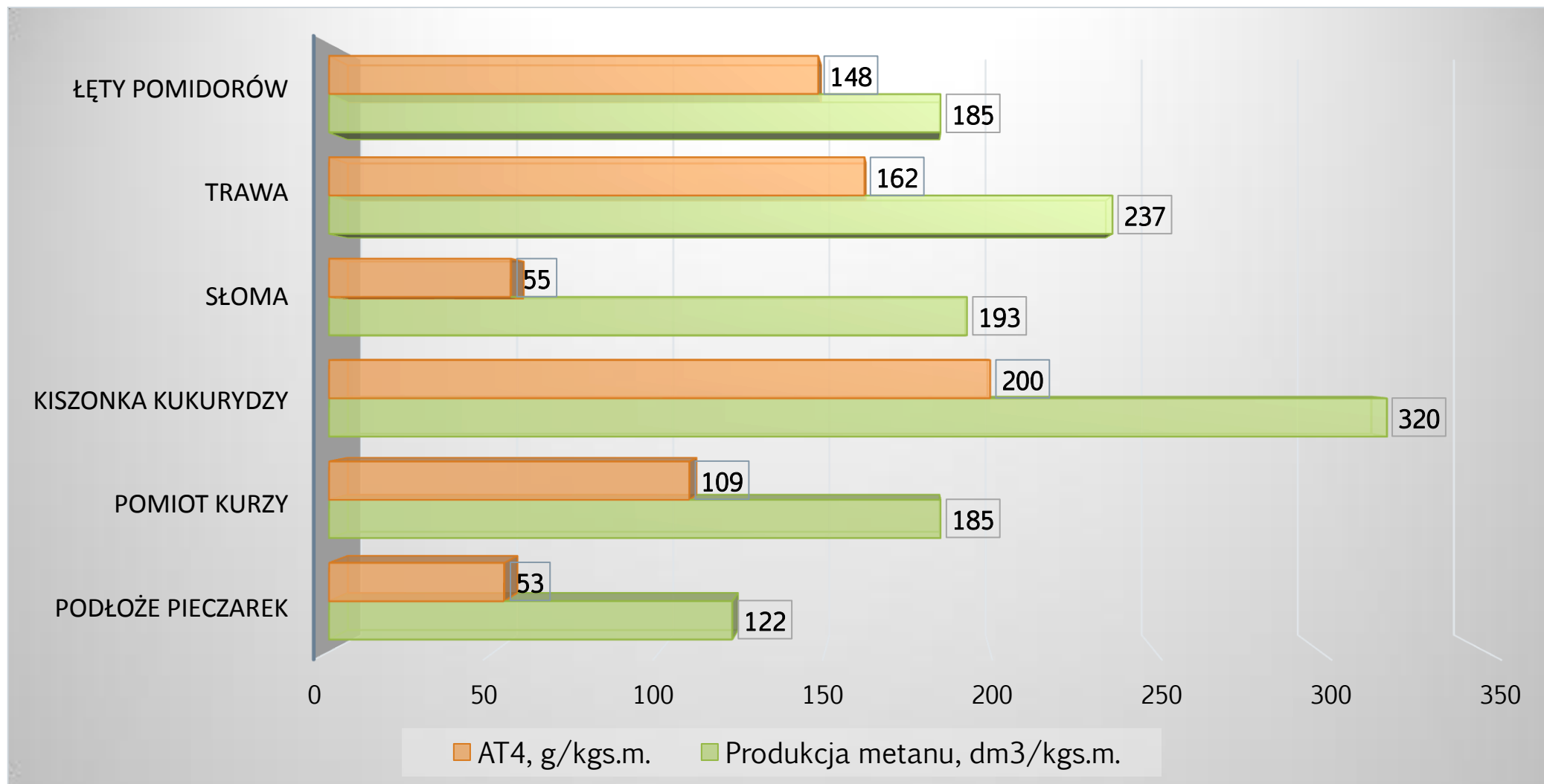
Rodzaj substratu	C/N
podłoże pieczarek	16
pomiot kurzy	12
kiszonka kukurydzy	57
słoma	169
trawa	16
łęty	31

Substrat 2-składnikowy	
kiszonka kukurydzy 80%, pomiot kurzy 20%	38
kiszonka kukurydzy 70%, pomiot kurzy 30%	32
kiszonka kukurydzy 60%, pomiot kurzy 40%	27
kiszonka kukurydzy 40%, pomiot kurzy 60%	20
łęty pomidorów 90%, 10% pomiot kurzy	27
łęty pomidorów 80%, 20% pomiot kurzy	24
łęty pomidorów 70%, 30% pomiot kurzy	22
łęty pomidorów 60%, 40% pomiot kurzy	20
łęty pomidorów 40%, 60% pomiot kurzy	16
słoma 30%, pomiot kurzy 70%	49
słoma 20%, pomiot kurzy 80%	36
słoma 10%, pomiot kurzy 90%	24
podłoże pieczarek 90%, pomiot kurzy 10%	22
podłoże pieczarek 80%, pomiot kurzy 20%	22
podłoże pieczarek 70%, pomiot kurzy 30%	21
podłoże pieczarek 60%, pomiot kurzy 40%	20
trawa 95%, pomiot kurzy 5%	16
trawa 80%, pomiot kurzy 20%	15
trawa 40%, pomiot kurzy 60%	14
trawa 30%, pomiot kurzy 70%	13
trawa 10%, pomiot kurzy 90%	12
kiszonka kukurydzy 30%, pomiot kurzy 70%	13

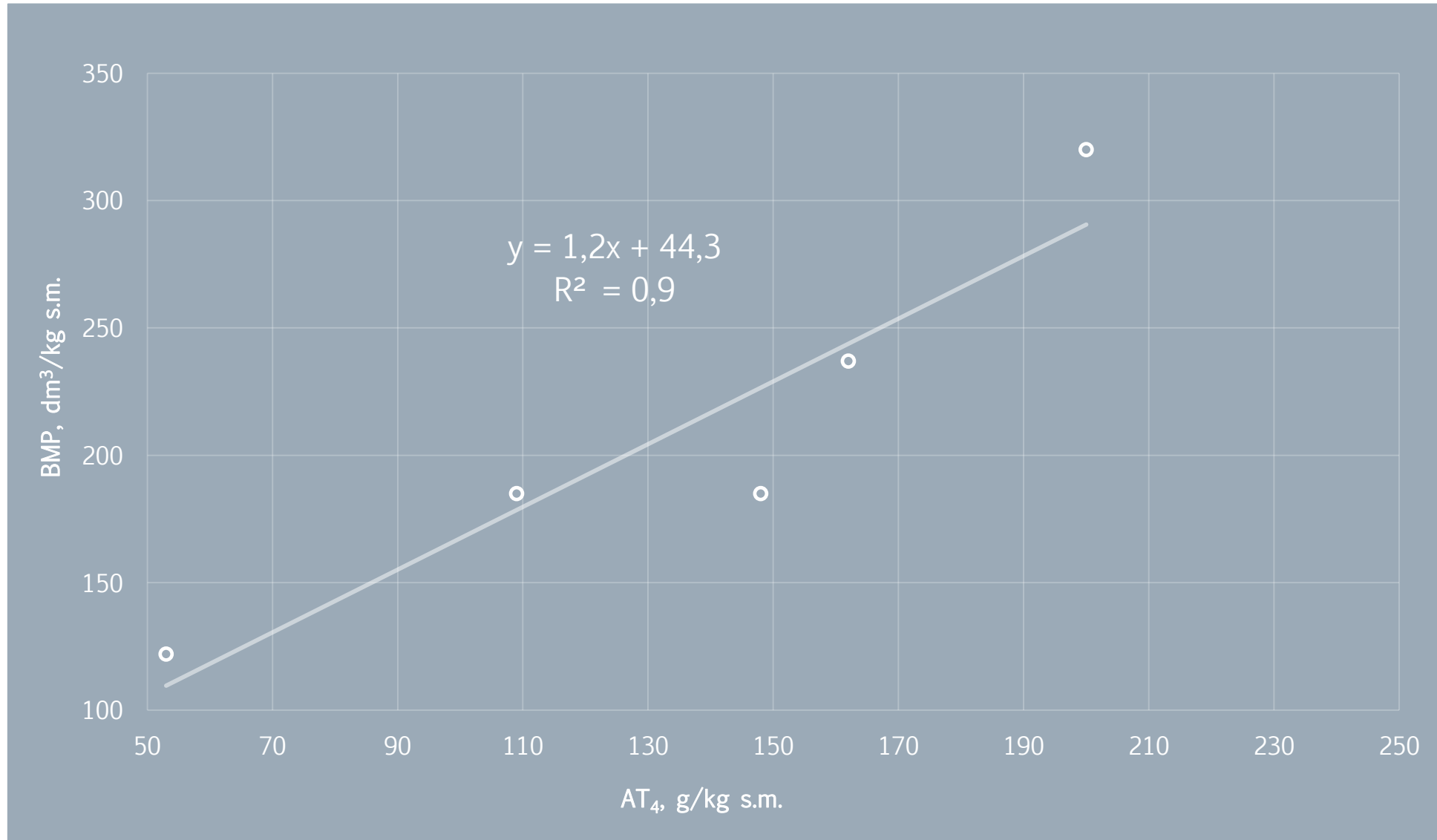
# Iloraz C/N

Substrat 3-składnikowy	
trawa 20%, pomiot kurzy 60%, łęty pomidorów 20%	14
podłoże pieczarek 20%, pomiot kurzy 60%, łęty pomidorów 20%	15
kiszonka kukurydzy 20%, pomiot kurzy 60%, łęty pomidorów 20%	15
kiszonka kukurydzy 15%, pomiot kurzy 70%, łęty pomidorów 15%	14
podłoże pieczarek 15%, pomiot kurzy 70%, łęty pomidorów 15%	13
trawa 15%, pomiot kurzy 70%, łęty pomidorów 15%	14
słoma 20%, pomiot kurzy 60%, łęty pomidorów 20%	18
słoma 15%, pomiot kurzy 70%, łęty pomidorów 15%	17
podłoże 10%, pomiot kurzy 80%, łęty pomidorów 10%	13
kukurydzy 10%, pomiot kurzy 80%, łęty pomidorów 10%	14

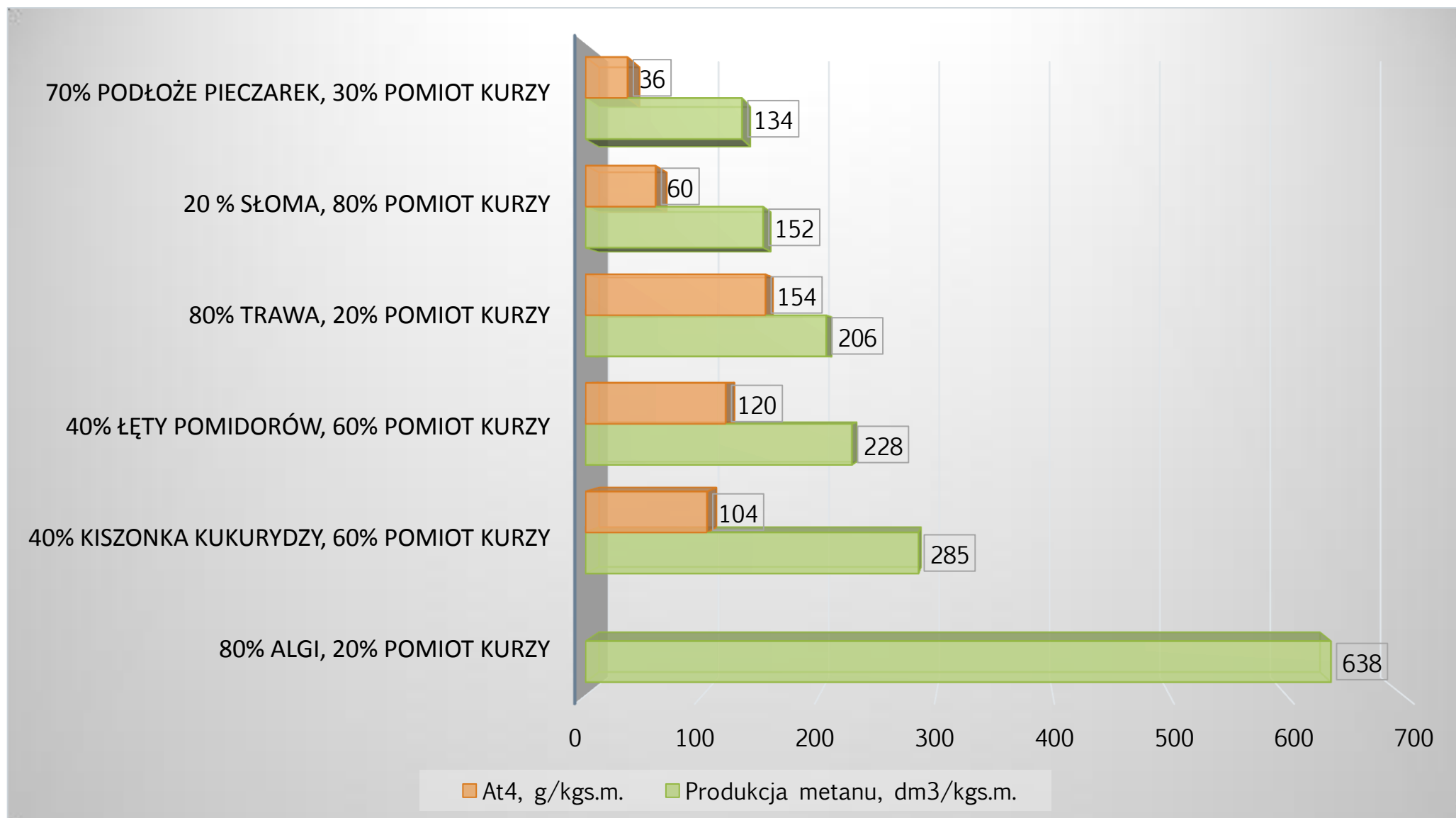
# Potencjał metanowy i AT<sub>4</sub> substratów podstawowych



# Korelacja między $AT_4$ i BMP



# Potencjał metanowy i AT<sub>4</sub> ko-substratów

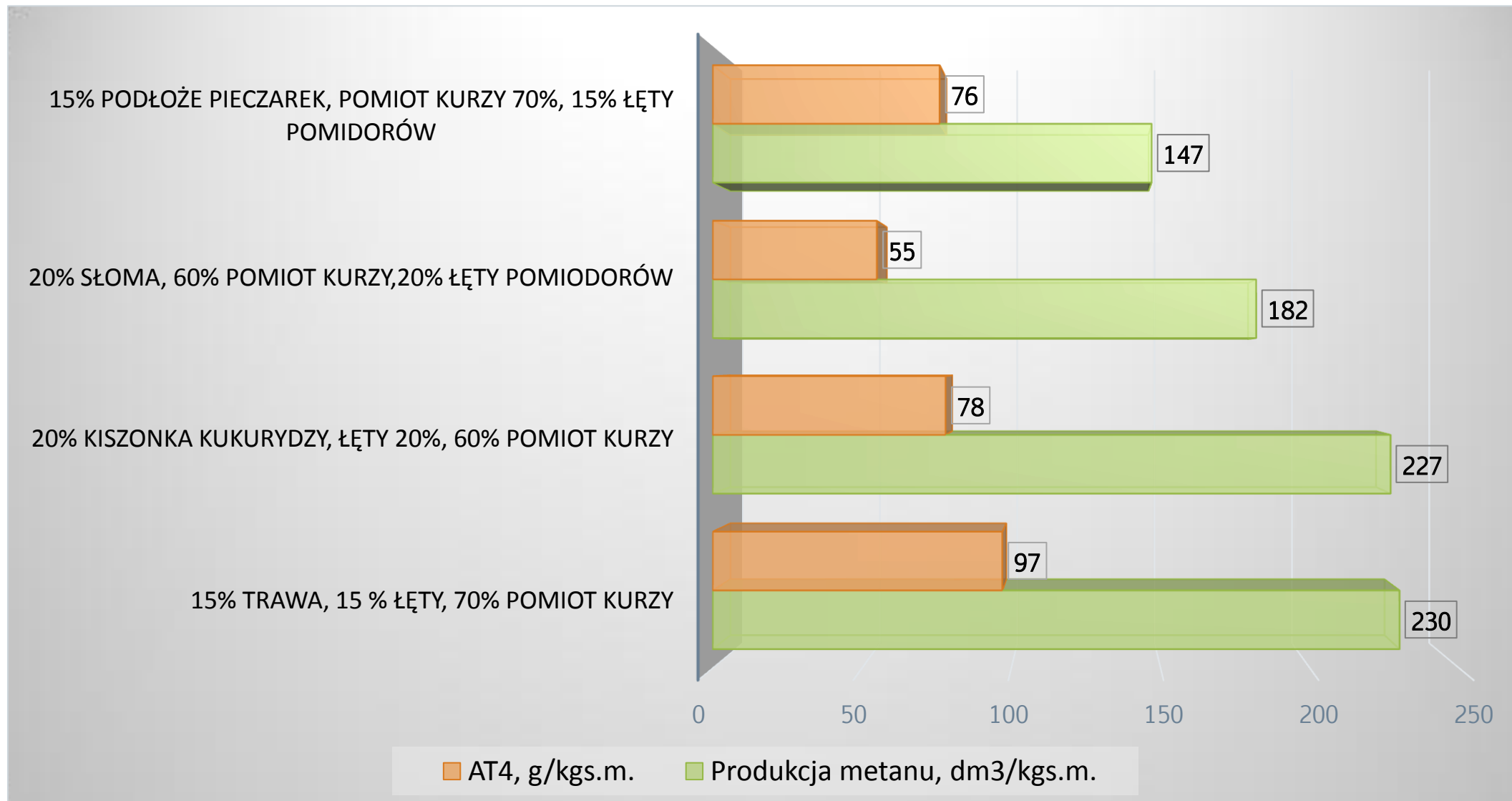




# Skład fizyczno-chemiczny substratów 3-składnikowych

Nazwa substratu	pH	s.m. g/kg s.m.	s.m.o. g/kg s.m.	ChZT g/kg s.m.	C:N	LKT g/kg s.m.	AT4 gO <sub>2</sub> /kg s.m.	Metan m <sup>3</sup> /t s.m.	Metan m <sup>3</sup> /t s.m.o.
trawa 20%, pomiot kurzy 60%, łęty pomidorów 20%	7,00	198,10	726,00	841,34	14	19,36	113,00	147,00	201,00
podłoże pieczarek 20%, pomiot kurzy 60%, łęty pomidorów 20%	7,38	236,90	720,00	783,95	15	7,85	61,00	125,03	173,69
kiszonka kukurydzy 20%, pomiot kurzy 60%, łęty pomidorów 20%	6,91	206,80	761,00	819,76	15	14,58	78,00	227,00	299,00
kiszonka kukurydzy 15%, pomiot kurzy 70%, łęty pomidorów 15%	7,05	208,20	746,00	773,08	14	16,34	69,00	198,00	260,00
podłoże pieczarek 15%, pomiot kurzy 70%, łęty pomidorów 15%	7,47	201,70	720,00	1024,65	13	21,29	75,81	147,16	204,43
trawa 15%, pomiot kurzy 70%, łęty pomidorów 15%	7,36	230,80	693,00	585,97	14	11,10	98,00	114,00	164,00
słoma 20%, pomiot kurzy 60%, łęty pomidorów 20%	8,86	314,30	824,34	451,80	18	5,76	39,00	182,12	226,92
słoma 15%, pomiot kurzy 70 %, łęty pomidorów 15%	8,85	261,90	802,33	579,93	17	7,22	37,00	109,00	135,00
podłoże 10%, pomiot kurzy 80 %, łęty pomidorów 10%	8,72	196,60	648,58	142,42	13	12,66	-	74,94	115,46
kukurydz 10%, pomiot kurzy 80 %, łęty pomidorów 10%	8,90	198,20	725,90	444,00	14	8,69	-	156,00	214,00

# Potencjał metanowy i AT<sub>4</sub> ko-substratów



# Fermentacja ciągła

Fermentacja ciągła	
Rodzaj substratu	Produkcja metanu, dm <sup>3</sup> /kgs.m.o.
60% pomiot + 40% trawa	176
60% pomiot + 40% słoma	54
60% pomiot + 40% kiszonka kukurydzy	228

# Wnioski

- › Optymalne wartości ilorazu C/N (100:3) uzyskano dla:
  - › łęt pomidorów - **31**
  - › kiszonka kukurydzy 60%, pomiot kurzy 40% - **27**
  - › kiszonka kukurydzy 40%, pomiot kurzy 60% - **20**
  - › łęty pomidorów 90%, 10% pomiot kurzy - **27**
  - › łęty pomidorów 80%, 20% pomiot kurzy - **24**
  - › łęty pomidorów 70%, 30% pomiot kurzy - **22**
  - › łęty pomidorów 60%, 40% pomiot kurzy – **20**
  - › słoma 10%, pomiot kurzy 90% - **24**
  - › podłoże pieczarek 90%, pomiot kurzy 10% - **22**
  - › podłoże pieczarek 80%, pomiot kurzy 20% - **22**
  - › podłoże pieczarek 70%, pomiot kurzy 30% - **21**
  - › podłoże pieczarek 60%, pomiot kurzy 40% - **20**
  
- › Największy potencjał metanowy uzyskano dla kiszonki kukurydzy (C/N=57) oraz dla trawy (C/N=16)

# Wnioski

- ›  $AT_4$  jest lepszym parametrem do oceny składu substratu i jego podatności na rozkład niż iloraz C/N.
- › Wykazano dobrą korelację pomiędzy  $AT_4$  a BMP.
- › Największą produkcję metanu (**285 dm<sup>3</sup>/kgs.m.**) uzyskano z mieszaniny: **60% pomiotu + 40% kiszonka kukurydzy** (przy C/N=27,  $AT_4= 104$  g/kgs.m.).
- › Zamiana ko-substratów na algi powoduje wzrost produkcji metanu:
  - › 20% pomiot kurzy, 80% algi - 638 dm<sup>3</sup>/kgs.m.
  - › 40% pomiot kurzy, 60% algi - 405 dm<sup>3</sup>/kgs.m.
  - › 60% pomiot kurzy, 40% algi - 178 dm<sup>3</sup>/kgs.m.
  - › 70% pomiot kurzy, 30% algi - 233 dm<sup>3</sup>/kgs.m.

# Wnioski

- › Dla mieszaniny 3-składnikowej największe produkcje metanu uzyskano dla:
  - › **230 dm<sup>3</sup>/kgs.m.** dla 70% pomiot + 15% łęty pomidorów + 15% trawa (C/N=14, AT<sub>4</sub>= 97 g/kgs.m.)
  - › **227 dm<sup>3</sup>/kgs.m.** dla 60% pomiot + 20% łęty pomidorów + 20% kiszonka kukurydzy (C/N=15, AT<sub>4</sub>= 78 g/kgs.m.)
- › W procesie fermentacji ciągłej największą produkcję metanu na poziomie **228 dm<sup>3</sup>/kgs.m.o.** uzyskano dla mieszaniny: **60% pomiot kurzy + 40% kiszonka**, co dobrze koresponduje z otrzymanymi wynikami badań potencjału biogazowego w układzie periodycznym.



Nowatorska produkcja energii w biogazowni poprzez  
użytkowanie pomiotu drobiowego  
z zamianą substratu roślinnego na algi



# Potencjał metanowy wybranych substratów

Monika Suchowska-Kisielewicz, Zofia Sadecka  
Uniwersytet Zielonogórski  
Instytut Inżynierii Środowiska

Projekt dofinansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju  
oraz Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w ramach Programu  
Gekon – Generator Koncepcji Ekologicznych

$\pi$