Branżowe Centrum Umiejętności
Jabłoń, 19.05. – 21.05.2026 r.

Technologia produkcji biogazu

Energia z biogazu i biomasy - część I

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 energetyczny,?
- czy może mieć udział w zapewnieniu, częściowo bezpieczeństwa energetycznego?

dr hab. inż. Grzegorz Wałowski, prof. ITP-PIB

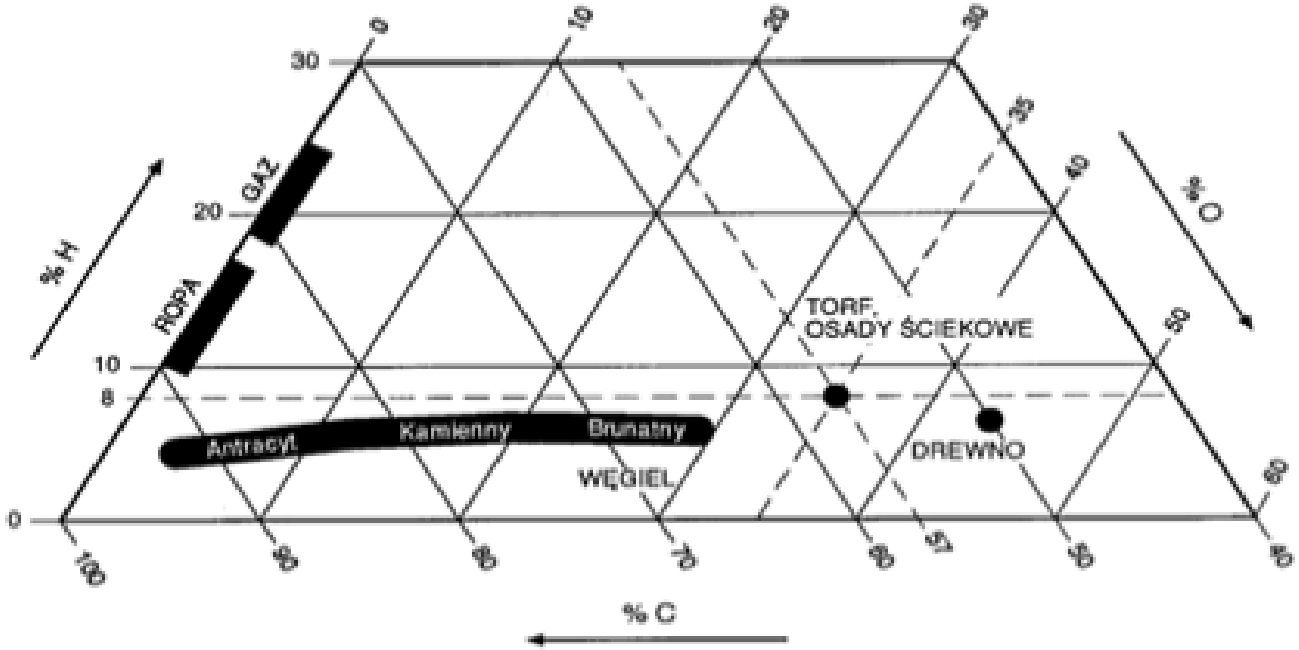
g.walowski@itp.edu.pl

Zakres

W bloku tematycznym – cz. I, przedstawiono przemiany substancji organicznej, w kontekście formowania metanu (CH_4) przez metanogeny.

Dokonano charakterystyki wybranych paliw opałowych pochodzenia biologicznego - wskazując na produkcję oraz zastosowanie biomasy.

Biomasa powstaje w wyniku procesu fotosyntezy w przeszłości ulegała procesom odtlenienia, produkując węgiel kamienny lub brunatny o składzie sumarycznym $(CH_2)n$ lub gaz ziemny $(CH_4)n$ – Rys. 1.
Anaerobowa transformacja **torfowej materii organicznej** [Szafranek-Nakonieczna, 2019], zgromadzonej w pradawnych torfowiskach, głównie za przyczyną mikroorganizmów, doprowadziła do powstania **kwasów humusowych z ligniny i celulozy**, a w dalszej kolejności do ich maceracji i zagęszczenia, czemu towarzyszył proces biologicznego formowania **metanu** (CH_4).
W kolejnym etapie przemian substancji **węglotwórczej** – Rys. 1, które przebiegało z chwilą przykrycia torfowiska, nastąpiło odwodnienie i zmniejszenie porowatości zgromadzonego materiału pod wpływem temperatury i ciśnienia, czyli procesów geologicznych i geochemicznych, co doprowadziło do wykształcenia węgla brunatnego.



Rys. 1. Zawartość atomów C, O i H w paliwach kopalnych oraz w osadach ściekowych i drewnie - w biomasie [Kowalik, 2002].

Legenda [opracował G. Wałowski]:

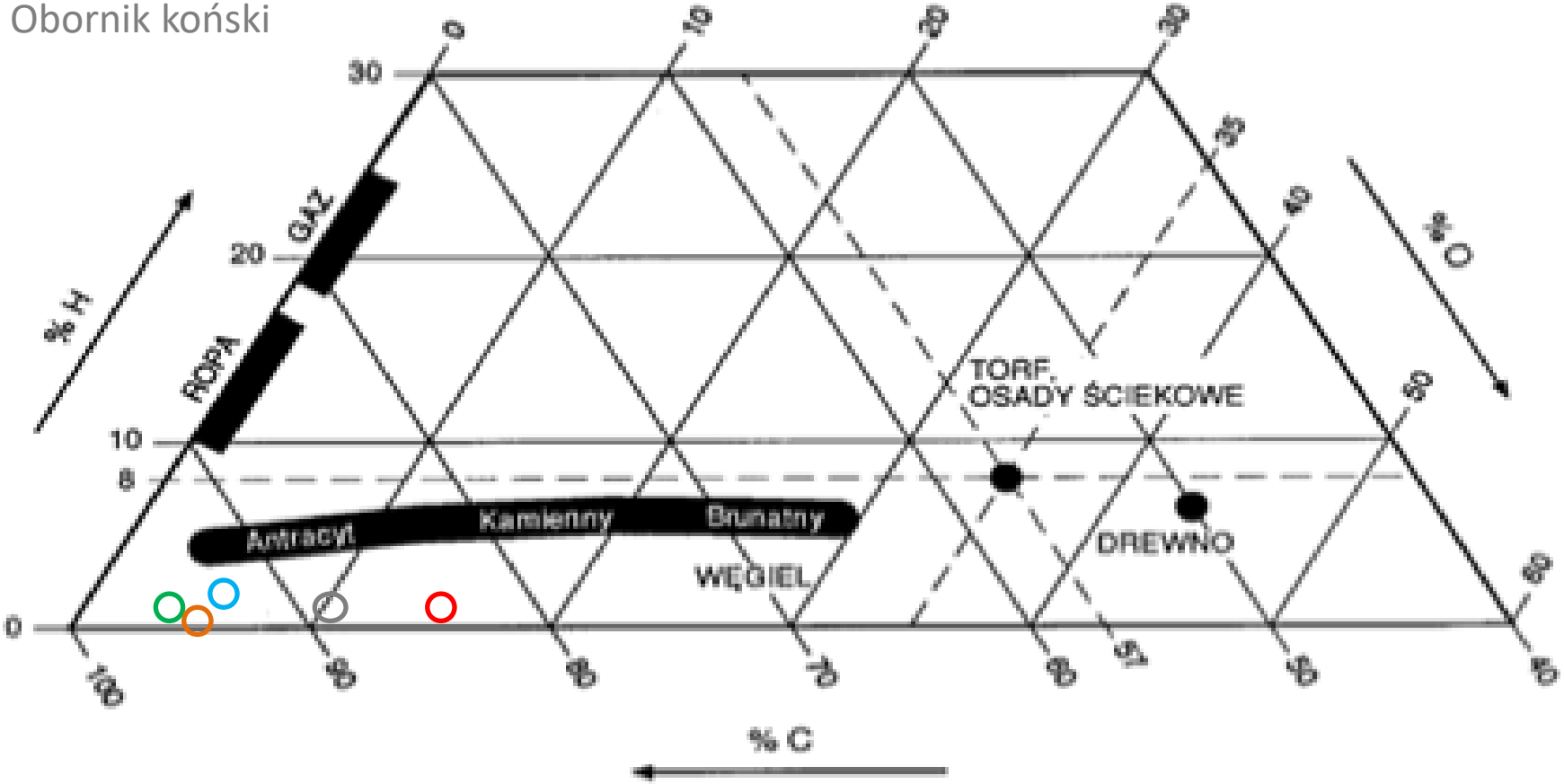
Obornik kozi

Kurzyniec

Obornik krowi, Gnojowica świńska

Osad z oczyszczalni

Obornik koński



Rys. 1. Zawartość atomów C, O i H w paliwach kopalnych oraz w osadach ściekowych i drewnie - w biomasie [Kowalik, 2002].

W porównaniu z torfem węgiel brunatny charakteryzuje się wzrostem zawartości węgla (C) oraz zmianą struktury związków chemicznych, polegającą na przemianach w łańcuchach bocznych i ich rozkładzie (dehydratacja, dekarboksylacja).
W wyniku dalszych przemian, wywołanych intensyfikacją czynników geologicznych (ciśnienia i temperatury) następowała kondensacja pierścieni aromatycznych.
Każda z kolejnych przemian prowadziła do powstania bardziej złożonych produktów, które tworzą tzw. szereg węglowy [Keppeler, 2006] (1):

torf → węgiel brunatny → węgiel kamienny → antracyt → grafit (1)

Na każdym z etapów wspomnianego szlaku węglowego wydzielany był metan, początkowo będący efektem procesów o naturze biologicznej, a następnie procesów termicznych.
Za proces formowania CH_4 odpowiedzialne są **metanogeny**, wyjątkowa grupa autotroficznych, anaerobowych mikroorganizmów, posiadających unikalną wśród żywych organizmów zdolność wytwarzania metanu, jako jednego z produktów procesu metabolicznego.

Keppeler, J.G. Coals, lignite, peat, in Kutz M. (ed), Mechanical Engineers' Handbook: Energy and Power, 2006, vol. 4, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc.

Kowalik P. 2002. Wykorzystanie biomasy jako surowca energetycznego. Fundacja na Rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii. Energetyczne wykorzystanie biomasy. Szkolenie na działających przykładach zastosowań energii odnawialnych w Polsce i w Danii. W ramach Programu TEMPUS Unii Europejskiej pt.: "Zrównoważony rozwój energetyczny", 16-28 czerwca 2002.

Szafranek-Nakonieczna, A. Autoreferat presenting the scientific achievement, reported as the subject of the habilitation procedure, the scientific biography of the applicant and other scientific achievements. The John Paul II Catholic University of Lublin, Faculty of Biotechnology and Environmental Sciences, Department of Environmental Biochemistry and Chemistry, Lublin, 2019.

Jednym z zadziwiających aspektów współczesności jest powrót do technologii związanych z erą ludzi pierwotnych - wiąże się to z wykorzystaniem, źródła energii roślin.

Obecna sytuacja na rynku paliw kopalnych doprowadziła do poważnych problemów ekologicznych, wynikających z zanieczyszczenia powietrza.
Dodatkowym elementem zwracającym uwagę na **alternatywne źródła energii** są coraz mniejsze rezerwy tych paliw dostępnych w działalności człowieka i związany z tym wzrastający koszt ich eksploatacji.

Dużą zaletą roślin jako źródła energii jest ich rozwój związany z wykorzystaniem CO_2 do wzrostu i wydzielaniem O_2. Wynika z tego, że roślina nie tylko może być źródłem materiałów energetycznych ale też zużywa wydzielony podczas produkcji energii CO_2.

Problemem jest **wytypowanie roślin** wykazujących się szybką produkcją biomasy służącej w późniejszych etapach przetwarzania do produkcji energii.
Rośliny te mogą być uprawiane na terenach gdzie gleba jest silnie zdegradowana, z dwóch podstawowych powodów:

- po pierwsze dlatego że, nie są hodowane dla celów konsumpcyjnych,
- a po drugie wykazują szybszy przyrost biomasy oraz mają małe wymagania glebowe.

Table 1. Materiały do spalania pochodzenia biologicznego [opracowanie własne]

Materiały do spalania pochodzenia biologicznego			
I grupa	**II grupa**	**III grupa**	
Odpady	**Produkty uboczne**	**Produkty roślinne celowo uprawiane dla potrzeb energetyki**	
		Rośliny stosowane w żywieniu ludzi i zwierząt ale o zmienionym wykorzystaniu	Rośliny uprawiane specjalnie na cele energetyczne
- liście, igły drzew i krzewów, gałęzie pozostałe po pracach porządkowych i pielęgnacyjnych w sadach, ogrodach i parkach, trawa ścinana na trawnikach i terenach położonych przy drogach; - pestki, ścinki, łupiny orzechów.	- słoma, na którą zapotrzebowanie w produkcji zwierzęcej zmalało w znaczącym stopniu i większość gospodarstw (zwłaszcza w sytuacji zwiększenia udziału zbóż w strukturze produkcji) boryka się z problemem jej zagospodarowania.	- zboża; - trawy.	- miskantus olbrzymi; - róża bezkolcowa; - ślazowiec pensylwański; - topinambu; - rdest sachaliński; mozga trzcinowata.
Często traktowane są jako kłopotliwy odpad, a ich utylizacja jest kłopotliwa i kosztowna.	Brykietowanie i peletowanie słomy to atrakcyjna forma zagęszczania słomy jako paliwa stałego, które można spalać lub współspalać.	Zboża przeznaczone do spalania jako całe rośliny lub część plonu (ziarno – szczególnie niskiej jakości, plewy, plewy, słoma z domieszką zebranych chwastów). Spalanie traw wymaga podobnych wymagań co spalanie słomy – zaletą są wysokie plony, a także nie ma ryzyka w przypadku zmian w prawie ograniczających wykorzystanie roślin, które mogą być źródłem pożywienia na cele energetyczne.	Istnieją odmiany roślin hodowane specjalnie na cele energetyczne – najkorzystniejsze wykorzystanie słomy zbożowej i rzepakowej jako materiału do produkcji peletów i brykietów.

W Table 2 zamieszczono potencjalne ilości drewna możliwe do pozyskania na cele energetyczne w Lasach Państwowych (będących w zarządzie Państwowego Gospodarstwa Leśnego Lasy Państwowe) oraz lasach prywatnych [26]. Widać, że teoretyczna (prognozowana) baza drewna na cele energetyczne będzie wzrastać zarówno w Lasach Państwowych, jak i lasach prywatnych.

Table 2. Prognoza pozyskania w 2031 r. drewna na cele energetyczne w Lasach Państwowych 40,7 mln m^3 oraz w lasach prywatnych 6,0 mln m^3 grubizny netto [26].

Sortyment	Lasy Państwowe	Lasy prywatne	Razem
	mln m^3		
Grubizna opałowa	3,05	0,78	3,83
Drewno małowymiarowe	2,44	0,30	2,74
- w tym drobnica opałowa	1,63	0,24	1,87
Pozostałości zrębowe	2,04	0,30	2,34
Razem	7,53	1,38	8,91
Razem bez drobnicy przemysłowej	6,72	1,32	8,04

Zawartość wilgoci w drewnie uzależniona jest od jego rodzaju i może podlegać zmianom. Wilgotność świeżo ściętego drewna wynosi 50% dla drzew iglastych i 60% dla drzew liściastych. Po okresie około 2 lat leżakowania w nasłonecznionym, suchym miejscu drewno osiąga najlepszą jakość, a jego wilgotność wynosi wówczas 15%.

Drewno cechuje duża porowatość, która wynosi (20-45) %, w zależności od gatunku drewna. Porowatość wywiera znaczny wpływ na właściwości mechaniczne i fizyczne drewna.
Średnia wartość gęstości drewna wykorzystywanego w polskiej strefie klimatycznej wynosi (500−600) $kg \cdot m^{-3}$, natomiast gęstość rzeczywista drewna (stosunek masy drewna w stanie suchym do jego objętości, z pominięciem porów) przeważnie wynosi (1500−1600) $kg \cdot m^{-3}$ [27]. Gęstość nasypowa i zawartość wilgoci całkowitej różnych odpadów drzewnych zostały przedstawione w Table 3.

Table 3. Zawartość wilgoci całkowitej i gęstość nasypowa odpadów drzewnych [27].

Sortyment odpadów z drewna	Zawartość wilgoci całkowitej - materiał pierwotny bez suszenia i przechowywania	Gęstość nasypowa
	%	$kg \cdot m^{-3}$
Zrębki	40–60	250–400
Zrębki z odpadów drzewnych	10–50	150–300
Kora	50–60	250–350
Trociny	45–60	250–350
Wióry	5–15	80–120
Trociny z mielenia odpadów	5–15	100–150
Drewno rozbiórkowe nie malowane	15–30	150–250

Wartość opałowa drewna z różnych gatunków drzew jest zbliżona. Różne rodzaje biomasy mają kaloryczność (15,5−16,5) $MJ \cdot kg^{-1}$, przy zawartości wilgoci na poziomie 15%. Przeprowadzone badania zależności kaloryczności drewna w od jego wilgotności wskazują, iż korzystne jest suszenie paliwa przed spalaniem. Wilgoć zawarta w drewnie stanowi balast cieplny, zmniejsza wartość ciepła spalania drewna, jak i sprawność całego procesu spalania [27].

Na praktyczne możliwości zastosowania paliw odnawialnych decydujący wpływ mają ceny surowców oraz poniesione nakłady inwestycyjne produkcji mocy. W Tabeli 4 zestawiono porównanie kosztów spalania słomy i węgla (wyliczenia Krajowej Agencji Poszanowania Energii - KAPE).

Tabela 4. Zestawienie kosztów spalania słomy i węgla - wyliczenia KAPE [29] .

Moc urządzenia	Zużycie paliwa		Koszt	
	słoma	węgiel	słoma	węgiel
kW	kg/h		PLN/kg	
70	19,4	14,6	0,06	0,162
100	27,6	20,8		
200	55,4	41,6		
300	83,0	62,4		
400	110,7	83,2		
500	138,3	104,0		
600	166,1	124,8		
700	193,7	145,6		
800	221,4	166,4		
900	249,1	187,2		
1000	276,7	208,0		
2000	528,9	416,0		
5000	1322,2	1040,0		

2.2. Charakterystyka wybranych paliw opałowych - słoma

Najtańszym nośnikiem energii według tabeli 2 jest słoma (przy założeniu 1t słomy równej 150 PLN). W tabeli 5 porównano koszty wykorzystania paliw opałowych do ogrzania budynku przy założeniach [29]: - obciążenia cieplnego 70 kW, - obciążenia godzinowego 2 968 h/rok, - zapotrzebowania na energię 207 786 kWh/rok.

Tabela 5. Porównanie paliw opałowych [29].

	Rodzaj paliwa	Słoma	Węgiel kamienny	Zrębki	Pellet	Gaz ziemny	Olej opałowy
	Jednostka	PLN/kg				PLN/m^3	PLN/l
	Wartość	0,15	0,75	0,40	0,675	3,56	3,84
Cecha	Jednostka						
Koszty jednostkowe paliw	PLN/m^3	7,50	525,00	60,00	607,50	3,56	3.840,00
Roczne koszty paliwa	PLN/rok	8.506,52	15.577,72	34.922,02	37.302,01	67.369,60	78.882,67
Koszty paliwa	PLN/MWh	32,80	61,50	117,60	143,60	291,80	322,70
	PLN/GJ	9,10	17,10	32,70	39,90	81,10	89,60
Zapotrzebowanie paliwa	m^3/rok	11.434,00	26.673,00	404,00	84,00	24.302,00	24,00
	kg/rok	56.710,00	20.770,00	87.305,00	55.262,00	18.924,00	20.542,00
Sprawność kotła	%	80,00	82,00	70,00	80,00	90,00	85,00
Końcowe zapotrzebowanie energii	kWh/rok	207.786,00	207.786,00	207.786,00	207.786,00	207.786,00	207.786,00
Wilgotność paliw	% wag.	20,00	23,00	30,00	8,00	0,00	0,00
Wartość opałowa	MJ/kg	16,50	30,00	12,30	17,00	44,00	42,70
	kWh/kg	4,58	12,20	3,40	4,70	12,20	11,90
	MJ/m^3	825,00	34,30	2.644,00	11.079,00	34,30	36.078,00
	kWh/m^3	229,00	9,50	735,00	3.077,00	9,50	10.022,00

Sezon grzewczy jest wyliczony na 4000 godzin, co odpowiada 0,5 roku. Zużycie słomy jest obliczone przy 100% pełnego obciążenia i wartości spalania słomy 4,2 $MWh \cdot Mg^{-1}$ przy 15% wilgotności oraz 86% wydajności dla urządzenia do 1200 kW i 90% dla urządzenia powyżej 1200 kW. Zużycie węgla jest obliczone przy 100% pełnego obciążenia i wartości spalania węgla 6,4 $MWh \cdot Mg^{-1}$ oraz 75% wydajności [29].

Najtańszym nośnikiem energii według Tabele 6 jest słoma (przy założeniu 1 Mg słomy równej 150 PLN). W Tabele 5 porównano koszty wykorzystania paliw opałowych do ogrzania budynku przy założeniach [29]:
- obciążenia cieplnego 70 kW,
- obciążenia godzinowego 2 968 $h \cdot rok^{-1}$,
- zapotrzebowania na energię 207 786 $kWh \cdot rok^{-1}$.

Tabele 6. Porównanie paliw opałowych [29].

	Rodzaj paliwa	Słoma	Węgiel kamienny	Zrębki	Pellet	Gaz ziemny	Olej opałowy
	Jednostka	PLN·kg^{-1}				PLN·m^{-3}	PLN·l^{-1}
	Wartość	0,15	0,75	0,40	0,675	3,56	3,84
Cecha	Jednostka						
Koszty jednostkowe paliw	PLN·m^{-3}	7,50	525,00	60,00	607,50	3,56	3.840,00
Roczne koszty paliwa	PLN·rok^{-1}	8.506,52	15.577,72	34.922,02	37.302,01	67.369,60	78.882,67
Koszty paliwa	PLN·MWh^{-1}	32,80	61,50	117,60	143,60	291,80	322,70
	PLN·GJ^{-1}	9,10	17,10	32,70	39,90	81,10	89,60
Zapotrzebowanie paliwa	m^{3}·rok^{-1}	11.434,00	26.673,00	404,00	84,00	24.302,00	24,00
	kg·rok^{-1}	56.710,00	20.770,00	87.305,00	55.262,00	18.924,00	20.542,00
Sprawność kotła	%	80,00	82,00	70,00	80,00	90,00	85,00
Końcowe zapotrzebowanie energii	kWh·rok^{-1}	207.786,00	207.786,00	207.786,00	207.786,00	207.786,00	207.786,00
Wilgotność paliw	% wag.	20,00	23,00	30,00	8,00	0,00	0,00
Wartość opałowa	MJ·kg^{-1}	16,50	30,00	12,30	17,00	44,00	42,70
	kWh·kg^{-1}	4,58	12,20	3,40	4,70	12,20	11,90
	MJ·m^{-3}	825,00	34,30	2.644,00	11.079,00	34,30	36.078,00
	kWh·m^{-3}	229,00	9,50	735,00	3.077,00	9,50	10.022,00

Jest to paliwo często pomijane przy projektowaniu nowych instalacji na biomasę ze względu na trudności ze spalaniem oraz transportem. Spalaniu słomy towarzyszy śladowa emisja SO_2, a wartość emisji NO_x jest porównywalna z emisją z kotłowni węglowych.

Wartość opałowa słomy wynosi, ok. 16,5 $MJ \cdot kg^{-1}$, więc jest to opał średnio kaloryczny. Najbardziej rozpowszechnionym nośnikiem energii cieplnej w Polsce jest węgiel kamienny. Średnia cena za jedną tonę wynosiła do 2022 r., ok. 700 PLN (od 2022 r. średnio 3800 PLN).

W miarę wzrostu ocieplenia klimatu i obniżania poziomu wody w glebie, można oczekiwać, że uprawa sorgo (Rys. 2) w Polsce znajdzie coraz więcej zwolenników. Ponadto należy zauważyć, że biomasa sorgo jest co prawda gorszą paszą objętościową od kukurydzy z uwagi na twarde i zdrewniałe łodygi, szczególnie gdy jest zbierana pod koniec wegetacji, stanowi jednak dobry substrat dla energetyki zawodowej [50]. Istnieje możliwość wykorzystania biomasy sorgo zarówno do produkcji biogazu [51], jak i bioetanolu [52,53,54]. W Tabeli 7 podano składy chemiczne biomasy sorgo uprawianego w plonie głównym i wtórym dla poszczególnych odmian.

a)

b)

Rys. 2. Sorgo [fot. shutterstock - https://www.ekologia.pl/styl-zycia/zdrowa-zywnosc/sorgo-opis-wlasciwosci-i-zastosowanie-zboze-sorgo-ciekawostki,23430.html]: a) uprawa rośliny, b) ziarna.

Tabela 7. Skład chemiczny biomasy odmian sorgo uprawianych w plonie głównym i wtórym do produkcji bioetanolu [55].

Odmiana sorgo	Plon główny			
	Celuloza %	Hemicelulozy %	Holoceluloza %	Lignina %
Sucrosorgo 506	32,8	32,9	65,7	19,4
Santos	34,7	32,8	67,5	20,2
Rona 1	34,6	29,4	64,0	19,2
	Plon wtóry			
Sucrosorgo 506	27,0	38,5	65,5	17,9
Santos	32,1	31,2	63,3	20,8
Rona 1	25,8	35,6	61,4	18,3

Stwierdzono, że biomasa *Sucrosorgo 506* w plonie głównym i wtórym posiada zawartości holocelulozy na podobnym poziomie tj. celulozy i hemiceluloz łącznie, składników stanowiących potencjalne substraty do hydrolizy enzymatycznej i procesu fermentacji oraz niższą zawartość ligniny w plonie wtórym niż w plonie głównym - składnika stanowiącego przeszkodę w wytwarzaniu bioetanolu z biomasy roślinnej. Dla pozostałych dwóch odmian *Santos* i *Rona 1* w plonie wtórym uzyskano niższe wartości holocelulozy niż w plonie głównym, a wartości ligniny na zbliżonym poziomie [55].

Na świecie, w tym ostatnio i w Polsce, do celów energetycznych wykorzystuje się ziarno zbóż, głównie owsa (Rys. 3.) i kukurydzy. Ziarno, ze względu na niewielkie rozmiary, łatwiej jest transportować i magazynować niż słomę i drewno. Ponadto cecha ta daje duże możliwości techniczne pełnej automatyzacji procesu zadawania paliwa do kotła [60]. Proces spalania ziarna jest realizowany w specjalnych palnikach, wymagających dostarczenia odpowiedniej ilości powietrza oraz utrzymywania odmiennej temperatury spalania niż powszechnie stosowana do biomasy [61]. Wartość opałowa ziarna owsa wynosi 18,5 $MJ \cdot kg^{-1}$ w warunkach jego średniej wilgotności (10–13) %, a jego gęstość usypowa wynosi 0,75 $kg \cdot dm^{-3}$.

a)

b)

Rys. 3. Owies : a) uprawa rośliny [fot. M. Kula - https://wiescirolnicze.pl/technika/wegiel-coraz-gorszy-i-drozszy-rozwiazaniem-owies/] , b) ziarna [https://www.zooklub.szczecin.pl/co-moze-jesc/myszoskoczek/owies/bkrbt1w1]

Powody, dla których warto zastanowić się nad zastosowaniem ziarna owsa jako surowca energetycznego, są następujące:
− owies ma małe wymagania glebowe, co oznacza, że może być uprawiany praktycznie wszędzie;
− istnieje długa tradycja uprawy tego zboża w Polsce;
− maszyny do uprawy, zbioru i pozyskiwania ziarna zbóż są powszechnie dostępne;
− ziarno energetyczne jest łatwe w przechowywaniu i transporcie [62].

W badanych gospodarstwach [60] większość domów mieszkalnych była wyposażona w stare piece do centralnego ogrzewania, montowane jeszcze w latach 1980–1995. W tych instalacjach dokonano większych bądź mniejszych przeróbek i zamontowano palniki na owies. W celu porównania i lepszego scharakteryzowania badane gospodarstwa podzielono na trzy grupy:
− A (13 gospodarstw) – ziarno owsa, wykorzystywane do celów grzewczych, pochodziło z własnej produkcji i było dodatkowo dokupowane pod koniec sezonu grzewczego 2007/2008; powierzchnia uprawy owsa w gospodarstwie wynosiła średnio 1,68 ha;
− B (8 gospodarstw) – do ogrzewania wykorzystywano owies własnej produkcji i dodatkowo pod koniec sezonu grzewczego dodawane ziarno jęczmienia, powierzchnia uprawy owsa w gospodarstwie wynosiła średnio 3,13 ha;
− C (5 gospodarstw) – do ogrzewania wykorzystywano ziarno owsa, pochodzące z własnej produkcji, dodatkowo dokupowano pestki z wiśni; powierzchnia uprawy owsa wynosiła średnio 2,18 ha na gospodarstwo.

Wykorzystanie konwencjonalnych nośników energii w badanych gospodarstwach (węgla kamiennego, miału węglowego i drewna) przed zamontowaniem palnika na ziarno energetyczne przedstawiono w Tabeli 8. Roczne zużycie węgla kamiennego w gospodarstwie wynosiło średnio 4,2 Mg, miału węglowego 3,0 Mg, a drewna opałowego 3,8 m^3 . Dla porównania pokazano także zużycie ziarna owsa jako niekonwencjonalnego źródła energii.

Tabela 7. Wykorzystanie nośników energii w badanych gospodarstwach do celów grzewczych [60].

Grupa gospodarstw	Powierzchnia domu do ogrzania	węgiel kamienny	miał węglowy	drewno opałowe	ziarno owsa własne
	[m^2]	[$Mg \cdot rok^{-1}$]		[$m^3 \cdot rok^{-1}$]	[$Mg \cdot rok^{-1}$]
A	168,1	3,6	2,5	4,1	5,5
B	191,3	5,2	3,3	3,9	5,3
C	174,0	4,4	4,0	2,8	5,7
Ogółem	176,3	4,2	3,0	3,8	5,5

Żyto zwyczajne *Secale cereale L.* - produkcja żyta (Rys. 4) w Polsce jest największa spośród państw członkowskich Unii Europejskiej. Pod względem masy produkowanego ziarna jest ona bardzo zbliżona do światowego lidera – Rosji [59]. Do wytwarzania bioenergii, jak w przypadku owsa, można przeznaczać niepełnowartościowe ziarno oraz słomę [10].

a)

b)

Rys. 4. Żyto zwyczajne : a) uprawa rośliny [https://nawozy.eu/aktualnosci/newsy/zboza/spadek-cen-skupu-zyta-konsumpcyjnego.html] , b) ziarna [https://www.google.com/search?q=%C5%BCyto+zwyczajne&tbm=isch&chips=q:%C5%BCyto+zwyczajne,online_chips:m%C4%85ka+%C5%BCytnia:OKukX-uSm0g%3D&hl=pl&sa=X&ved=2ahUKEwiZ8ZeoqLf7AhXhDRAIHc6PBU0Q4lYoBHoECAEQLQ&biw=1349&bih=625#imgrc=SJuS61-kqzgv7M]

Alternatywnym kierunkiem zagospodarowania żyta ozimego jest produkcja biomasy na cele energetyczne [63]. Odmiany hybrydowe żyta ozimego zbierane z przeznaczeniem do produkcji biogazu osiągały większe plony zarówno świeżej, jak i suchej masy [64].

Biogaz uzyskiwany z żyta nie stanowi raczej konkurencji dla biogazu z rzepaku ozimego ze względu na większą efektywność energetyczną rzepaku – rzędu 43,1 $GJ \cdot ha^{-1}$ [65].

Badania [66] wskazują jednak, że to właśnie żyto ma największe znaczenie spośród zbóż jako surowiec do produkcji bioetanolu. Z rodziny *Poaceae* korzystniejszą alternatywę stanowi miskant olbrzymi czy kukurydza zwyczajna [67].

Słonecznik bulwiasty *Helianthus tuberosus L.*, zwany powszechnie topinamburem (Rys. 5) należy do rodziny astrowatych *Asteraceae*. Roślina ta wyróżnia się na tle pozostałych roślin energetycznych właściwościami pozwalającymi na bardziej efektywne wykorzystywanie energii promieniowania słonecznego i tym samym przekształcanie jej w substancję organiczną [71].

a)

b)

Rys. 5. Słonecznik bulwiasty (topinambur): a) uprawa rośliny [https://pl.wikipedia.org/wiki/S%C5%82onecznik_bulwiasty], b) bulwy [https://lokalnyrolnik.pl/products/topinambur-eko_400-g_farma-swietokrzyska?gclid=Cj0KCQiA99ybBhD9ARIsALvZavVlddQtdr5BXHaTH34ZU3oMbQ2ULxhsRtIocgjX-dNQr65UNxg8VjEaAtdeEALw_wcB]

Byliny, których części nadziemne zasychają po zakończeniu sezonu wegetacyjnego, mają dużą zawartość suchej masy bez konieczności dosuszania. Cecha ta dotyczy też słonecznika bulwiastego i stanowi jedną z jego zalet. Próby części nadziemnych, pobrane po zakończeniu wegetacji i zaschnięciu w stanie naturalnym, charakteryzowały się wilgotnością na poziomie (20-25)%, zaś w stanie analitycznym 9,6% - Tabela 9. Wilgotność ta, określana mianem powietrzno-suchej, charakteryzuje biomasę przechowywaną w pomieszczeniu, przeznaczaną do spalania lub wstępnego przetworzenia do postaci granulatów: brykietów lub peletów [75].

Tabela 9. Parametry energetyczne słomy słonecznika bulwiastego odmiany *Albik* [76].

Parametr	Symbol	Jednostka	Stan		
			analityczny	suchy	suchy i bezpopiołowy
Wilgoć analityczna	W_a	%	9,6	-	-
Popiół	A	%	4,9	5,4	-
Substancja palna	-	%	85,5	94,6	
Części lotne	V	%	67,2	74,4	78,6
Ciepło spalania	Q_s	$kcal \cdot kg^{-1}$	3 736	4 134	4 371
		$MJ \cdot kg^{-1}$	15,64	17,31	18,30
Wartość opałowa	Q_i	$kcal \cdot kg^{-1}$	3 419	3 846	4 066
		$MJ \cdot kg^{-1}$	14,32	16,10	17,02

Rdestowiec sachaliński *Reynoutria sachalinensis Nakai* jest rośliną bardzo szybko rosnącą. Pod koniec okresu wegetacji, bylina osiąga wysokość około 5 m. Wyróżnia się na tle pozostałych gatunków z rodzaju *Reynoutria* wielkością podłużno-jajowatych liści. Osiągają one bowiem długość ponad 40 cm, a ich szerokość wynosi około 25 cm. Pod względem warunków atmosferycznych, rdestowiec (Rys. 6) nie jest, aż tak odporny na niskie temperatury oraz brak opadów jak słonecznik bulwiasty [72].

a)

b)

Rys. 6. Rdestowiec sachaliński : a) uprawa rośliny [https://www.google.com/search?q=Rdestowiec+sachali%C5%84ski&sxsrf=ALiCzsYh1SlekAQ25nmTPWleA2Ip5L8lxg:1668779270157&tbm=isch&source=iu&ictx=1&vet=1&fir=51yDXRSYVJAlCM%252CTc5sdHirOg1iHM%252C%252Fm%252F02qrfvm%253BsSZXB221_3516M%252CixIp_uKCCuNLjM%252C_%253B_mBEzQONb8XX5M%252CX52kqjUeFZfavM%252C_%253B7Vm0DTbJMhVciM%252CTc5sdHirOg1iHM%252C_&usg=AI4_-kSRKUi5aizkwPJ_QRg-JhBz8lHSsA&sa=X&ved=2ahUKEwiXuuyc77f7AhWJpYsKHaaHABoQ_B16BAg6EAE#imgrc=51yDXRSYVJAlCM] , b)

Wariant z dwukrotnym zbiorem roślin pozwalał na zbiór większego plonu powietrznie suchej masy rdestu (różnice statystycznie istotne) niż zbiór jednorazowy [85]. Znacznie większy plon suchej masy uzyskano z obiektów koszonych jednorazowo w terminie jesiennym. Może to świadczyć o wyczerpaniu potencjału plonotwórczego rdestu w miarę wzrostu liczby pokosów. Zastosowane dawki jednokrotnego nawożenia azotem nie miały statystycznie istotnego wpływu na końcowe plony suchej masy rdestowca ostrokończystego. Nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic w wartościach opałowych biomasy rdestu w zależności od liczby pokosów i wariantu nawozowego Tabela 10.

Tabela 10. Wartość opałowa rdestowca ostrokończystego w zależności od liczby pokosów i wariantu nawożenia azotowego [85].

Liczba pokosów	Wariant nawozowy				Średnia
	kg $N_2 \cdot ha^{-1}$				
	25	50	75	100	
	Wartość opałowa				
	$MJ \cdot kg^{-1}$				
Jeden	16,84	16,99	16,96	16,93	16,93
Dwa	16,24	15,63	15,91	16,41	16,05
Średnia	16,54	16,31	16,43	16,67	16,49

Ślazowiec pensylwański (Rys. 7) *Sida hermaphrodita L. Rusby* należy do rodziny rdestowatych *Polygonaceae*. Jest byliną wieloletnią, może być uprawiany przez (15÷20) lat. Potocznie nazywa się go sidą lub malwą pensylwańską. Występuje w dwóch formach: - pierwsza to ślazowiec liściasty, który przeznaczany jest głównie do produkcji pasz oraz jako substrat do biogazowni rolniczych; - druga to łodygowa, uprawiana jest na nasiona oraz wykorzystywana jako substrat do produkcji biopaliw stałych.

a)

b)

Rys. 7. Ślazowiec pensylwański : a) uprawa rośliny [https://www.rynek-rolny.pl/artykul/slazowiec-pensylwanski-charakterystyka-uprawy-i-zastosowanie-do-celow-energetycznych.html] , b) kwiat [https://www.rynek-rolny.pl/artykul/slazowiec-pensylwanski-charakterystyka-uprawy-i-zastosowanie-do-celow-energetycznych,2.html]

Biomasa ślazowca pensylwańskiego zawiera średnio około 2,5% popiołu [90]. Nieco większą zawartość popiołu oznaczono w pędach roślin wyrosłych z nasion niż w roślinach z pozostałych obiektów - Tabela 11.

Tabela 11. Charakterystyka biomasy ślazowca pensylwańskiego jako biopaliwa [90].

Wyszczególnienie	Rodzaj materiału siewnego i ilość wysiewu/wysadzenia					
	nasiona		sadzonki korzeniowe		rozsada	
	$kg \cdot ha^{-1}$		tys. szt.–thous.$\cdot ha^{-1}$			
	1,5	4,5	20	60	20	60
Zawartość popiołu (%)	2,65	2,65	2,47	2,30	2,53	2,35
Ciepło spalania ($MJ \cdot kg^{-1}$ s.m.)	19,0	19,1	19,0	19,1	19,0	19,0
Wartość opałowa ($MJ \cdot kg^{-1}$)	14,0	13,9	14,0	14,0	14,0	14,1
Wartość energetyczna plonu ($GJ \cdot kg^{-1}$)	173	191	175	214	190	225

Miskant *Miscanthus* - do celów energetycznych plantatorzy pokładają nadzieję przede wszystkim w nowych mieszańcach z rodzaju *Miscanthus*. Od wielu lat uprawiane są miskant cukrowy (Rys. 8a) *Miscanthus sacchariflorus* oraz chiński (Rys. 8b) *Miscanthus sinnensis*, które są pochodzenia azjatyckiego, jednakże obecnie największe znaczenie gospodarcze ma miskant olbrzymi (Rys. 8c) *Miscanthus x giganteus J. M. Greef & M. Deuter* [95].

a)

b)

c)

Rys. 8. Miskant: **a)** cukrowy [https://pl.wikipedia.org/wiki/Miskant_cukrowy], **b)** chiński [https://krzewyozdobne.net/product-pol-5141-Miskant-chinski-Gracillimus-Miscanthus-sinensis.html], **c)** olbrzymi [http://niemczyk.agro.pl/produkt/miskant-olbrzymi/]

K aloryczność paliwa określa się nie tylko na podstawie badań eksperymentalnych w kalorymetrze, ale również dzięki znajomości składu paliwa. Ponieważ badania takie były przeprowadzone [99], w Tabeli 12 przedstawiono obliczeniowe wartości ciepła spalania, wykorzystując różne zależności prezentowane w literaturze oraz dla składu paliwa wyznaczonego dla całych roślin miskanta.

Tabela 12. Kaloryczność miskanta, obliczona na podstawie składu elementarnego – według różnych źródeł, dla wybranych wilgotności [99].

L.p.	Spartina preriowa Obliczenia dokonane na podstawie źródeł:	Ciepło spalania	Wartość opałowa dla wilgotności	
			10%	30%
		s. m. $kJ \cdot kg^{-1}$	$kJ \cdot kg^{-1}$	$kJ \cdot kg^{-1}$
1	Kozaczka [100]	18317	15051	11163
2	Ebeling and Jenkins [101]	18998	15664	11640
3	Demirbas [102]	17890	14666	10864
4	Gaur and Reed [103]	20259	16799	12523
6	Średnia	18759	15448	11472

Spartina preriowa (Rys 9), podobnie jak miskant olbrzymi, jest gatunkiem trawy wieloletniej o typie fotosyntezy C4 [8]. Pochodzi z Ameryki Północnej - w środowisku naturalnym porasta głównie źle odwodnione rowy i mokradła.

Rys. 9. Spartina preriowa - przyszłościowa trawa energetyczna [https://magazynbiomasa.pl/spartina-preriowa-przyszlosciowa-trawa-energetyczna/] .

Skład chemiczny biomasy spartiny preriowej oraz parametry energetyczne, tj. ciepło spalania i wartość opałowa, decydują o jej przydatności do spalania [109]. Oznaczono mniejszą zawartość popiołu i większy udział części lotnych, substancji palnej i C w biomasie spartiny preriowej zebranej po zakończeniu trzeciego okresu wegetacyjnego niż w surowcu pozyskanym po zakończeniu pierwszego roku wegetacji - Tabela 13.

Tabela 13. Parametry energetyczne biomasy spartiny preriowej [109].

Parametr	Symbol	Jednostka	Stan					
			Analityczny		suchy		suchy i bezpopiołowy	
			I rok	III rok	I rok	III rok	I rok	III rok
Wilgotność analityczna	W_a	%	13,4	13,5				
Popiół	A		5,1	3,6	5,9	4,1		
Substancja palna			81,5	83,0	94,1	95,9		
Części lotne	V		65,1	69,1	75,2	79,8	80,0	83,3
Ciepło spalania	Q_s	$kcal \cdot kg^{-1}$	3 811	3 932	4 402	4 544	4 679	4 740
		$MJ \cdot kg^{-1}$	15,96	16,46	18,43	19,02	19,59	19,85
Wartość opałowa	Q_i	$kcal \cdot kg^{-1}$	3 486	3 609	4 118	4 261	4 377	4 446
		$MJ \cdot kg^{-1}$	14,59	15,11	17,24	17,84	18,32	18,61

Te różnice spowodowały większe o 0,59 MJ·kg–1 s.m. ciepło spalania biomasy roślin spartiny preriowej pozyskanych po zakończeniu trzeciego okresu wegetacji w porównaniu ze stwierdzonym w biomasie roślin pozyskanych po zakończeniu pierwszego okresu wegetacji.

Mozga trzcinowata (Rys. 10) *Phalaris arundinacea* jest to wieloletnia trawa, bardzo odporna na niskie temperatury. Z tego powodu jest popularna w Skandynawii i stanowi jeden z głównych gatunków uprawianych na cele energetyczne [8].

a)

b)

Rys. 10. Mozga trzcinowata : a) uprawa rośliny [https://www.futuregardens.pl/mozga-trzcinowata-picta.html], b) kwiat [https://pl.wikipedia.org/wiki/Mozga_trzcinowata]

W badaniach [112] wartości są bardzo wysokie - Tabela 14 - i porównywalne z badaniami [113] oraz dużo wyższe od wartości otrzymanych przez [114] i [115]. Tak korzystne wyniki są następstwem wysokiej gęstości objętościowej wynikającej z peletowania biomasy, co udowodnił w swoich badaniach [116, 117, 118].

Tabela 14. Charakterystyka wartości energetycznej mozgi trzcinowatej [opracowanie własne].

Autor badań	Wartość energetyczna plonu	Ciepło spalania	Popiół	Wilgotność
	$MJ \cdot kg^{-1}DM$	$MJ \cdot kg^{-1}DM$	$g \cdot kg^{-1}$ DM	%
Grzelak [112]	18,2	19,4	69	7,7
Dadrach i in. [115]	17,0	17,0	68	6,8
Harkot i in. [113]	18,0	19,1	55	–
Rogalski i in. [114]	15,5	17,6	128	–

W celu pozyskania słomy, źdźbła należy ścinać wczesną wiosną, tuż po roztopieniu się śniegu, gdyż mozga bardzo wcześnie rozpoczyna wegetację. Jej biomasa charakteryzuje się na przedwiośniu bardzo niską wilgotnością wynoszącą tylko około (10÷15)%, przez co ze słomy łatwo można formować bele. W tym czasie ma ona także mniejszą zawartością popiołu, choć w marcu, w porównaniu z innymi gatunkami, jest i tak stosunkowo wysoka. W zależności od stanowiska, na którym rosła mozga, wynosi (2÷10)%. Prócz tego, biomasa mozgi trzcinowatej zawiera dużo azotu i chloru, co przy dość niskim plonie nie stanowi w Polsce alternatywnego źródła biomasy stałej w porównaniu z miskantem olbrzymim, sorgo czy kukurydzą [35,110].

Proso rózgowate (Rys. 11) - środowiskiem naturalnym także tego gatunku jest Ameryka Północna [8]. Już od lat 90. XX wieku prowadzone są tam badania nad wykorzystaniem prosa rózgowatego do celów energetycznych.

Rys. 11. Proso rózgowate - uprawa rośliny [https://kwietnik.com.pl/pl/p/proso-rozgowate-Red-Cloud-Panicum-virgatum-kod-9536/8435]

Gatunek ten uważany jest za jedną najbardziej efektywnych energetycznie upraw roślinnych – Tabela 15. Produkcja energii netto (czyli różnica pomiędzy energią włożoną w wytworzenie jednostki produktu, a energią pozyskaną w wyniku przetworzenia biomasy) tego gatunku wynosi 163,8 GJ·ha^{-1} przy plonie na poziomie 9 Mg s.m z ha. Taka sama kalkulacja wykonana dla kukurydzy daje 89,2 GJ·ha^{-1} (przy plonie ziarna 5,7 Mg·ha^{-1}) a dla żyta 34,7 GJ·ha^{-1} (plon ziarna 2,3 Mg·ha^{-1}) [122].

Tabela 15. Produkcja energii netto z prosa rózgowego [122].

Roślina	Plon s.m.	Zawartość energii	Produkcja energii netto
	$Mg \cdot ha^{-1}$	$GJ \cdot Mg^{-1}$	$GJ \cdot ha^{-1}$
Proso rózgowe	9,0	19,0	163,8
Rzepak	3,0	25,0	89,2
Kukurydza na ziarno	5,7	18,8	64,0

Biomasa prosa rózgowego o wilgotności około (15-20)% dobrze się sprasowuje i brykietuje. Badania [122] wykazały, że ciepło spalania wynosi około (17-18) $MJ \cdot kg^{-1}$ i jest wyższa niż innych polowych roślin energetycznych, a zbliżone do wierzby czy miskantusa. Wartość opałowa suchej masy uzyskanej z 1 ha plantacji może równoważyć około 5 Mg węgla kamiennego.

Perz wydłużony (Rys. 12) *Agropyron elongatum Beauvois* synonim *Elytrigia elongata L.*, nazywany także kępowym, bądź energetycznym, jest trawą wieloletnią o fotosyntezie typu C3 [8]. Występuje na suchych, a także zasolonych stanowiskach w Europie oraz Azji.

Rys. 12. Perz wydłużony - uprawa rośliny [https://rolniczeabc.pl/245169,Perz-wydluzony.html]

Biomasa słomy perzu wydłużonego może stanowić, ze względu na wysoką zawartość włókna i celulozy, obiecujące źródło energii do bezpośredniego spalania i bardzo wygodny sposób ogrzewania domów, w postaci brykietów, peletu czy sprasowanych bel (w większych kotłowniach). Wykonane badania [126] na wartość energetyczną biomasy w postaci suchej słomy czy brykietów, wykazały wysoką jej wartość (ciepło spalania ok. 18 MJ), wyższą od innych polowych roślin energetycznych np. słomy zbóż, a zbliżoną do niektórych gatunków drzew i węgla brunatnego.

[8] Frankowski J. Możliwości uprawy i wykorzystania traw wieloletnich do celów energetycznych. Bezpieczeństwo energetyczne, rynki surowców i energii, energetyka - bezpieczeństwo w wyzwaniach badawczych. T. 2, Prawo - gospodarka - społeczeństwo - biotechnologie - ochrona środowiska - bezpieczeństwo zdrowotne. Pod redakcją naukową Piotra Kwiatkiewicza i Radosława Szczerbowskiego
[10] Wałowski G., Analiza i klasyfikacja biomasy rolniczej jako surowca dla biorafinerii, w tym materiału lignocelulozowego oraz roślin wodnych. Monografia pod red. Agnieszki Wawrzyniak: Produkcja biogazu w rafinerii biomasy z uwzględnieniem aspektów eksploatacji biogazowni. Ed. ITP, ISBN 978-83-65426-46-8, Poznań 2020, 49-79.
[26] Zajączkowski, S. Prognozy pozyskania drewna w Polsce w perspektywie 20 lat oraz możliwości ich wykorzystania do szacowania zasobów drewna na cele energetyczne. [W:] Biomasa leśna na cele energetyczne. Redakcja naukowa P. Gołos i A. Kaliszewki. Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, Sękocin Stary, 2013, 21–31.
[27] Rybak, W. Spalanie i współspalanie biopaliw stałych. Wyd. Oficyny Wydawniczej Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2006, 411.
[29] CIRE 2022. https://www.cire.pl/pliki/2/ciepl_biom.pdf [dostęp 24.08.2022].
[35] Burczyk H., Przydatność jednorocznych roślin, uprawianych do produkcji biomasy na potrzeby energetyki zawodowej, „Problemy Inżynierii Rolniczej” [Usefulness of one-year-old plants grown for the production of biomass for the purposes of commercial power industry, "Problems of Agricultural Engineering"], 2012, 1 (75), 59-68.
[50] Burczyk, H. Przydatność jednorocznych roślin uprawianych do produkcji biomasy na potrzeby energetyki zawodowej. Problemy Inżynierii Rolniczej, 2012, 1, 59-68.
[51] Sałagan, P.; Dobek, T.K.; Kołosowski, P. Potencjał uzysku biogazu z sorgo cukrowego (Sorghum bicolor) odmiany ród J1052. Inżynieria rolnicza, 2013, 4, 291.
[52] Chmielewska, J.; Dziuba, E.; Foszczyńska, B.; Kawa-Rygielska, J.; Pietrzak, W.; Sowiński, J. Dobór metody przygotowania biomasy sorga cukrowego do produkcji etanolu. Acta Sci. Pol., Biotechnologia, 2015, 14 (4), 5-12.

53] Anioł, M.; Sowiński, J.; Aniołowska, M. Zawartość cukrów rozpuszczalnych i związków ligninocelulozowych w odmianach sorga. Przemysł Chemiczny, 2015, 10, 1832-1834.
[54] Batog, J.; Wawro, A.; Pieprzyk-Kokocha, D. Wydajność fizyko-chemicznej obróbki biomasy sorgo i miskanta w produkcji bioetanolu II generacji. Przemysł chemiczny, 2016, 9, 1679-1682.
[55] Plonowanie wybranych odmian sorga uprawianych w plonie głównym i wtórym do produkcji bioetanolu. Zagadnienia doradztwa rolniczego 2017, 4, 7-79.
[60] Kwaśniewski, D. Produkcja i wykorzystanie ziarna owsa jako odnawialnego źródła energii. Problemy Inżynierii Rolniczej, 2010, 3, 95-101.
[61] Janowicz, L. Ciepło z ziarna. Agroenergetyka, 2006, 1(15), 39–41.
[62] Dzik, T.; Mięso, R. Wytwarzanie i spalanie paliw z biomasy pochodzenia roślinnego w małej i mikro skali. Monografie. Wydaw. Szkoła Ochrony i Inżynierii Środowiska im. W. Goetla. Kraków, 2005, 253
[63] Dzienis, G. Żyto ozime ⍰ gatunek niedoceniany w Polsce. Agronomy Science, 2018, 19-28, DOI: 10.24326/asx.2018.1.2
[64] Piechota, T.; Sawinska, Z.; Kowalski, M.; Majchrzak, L.; Świtek, S.; Dopierała ,A. Plonowanie i zdrowotność wybranych odmian żyta ozimego uprawianego przeznaczeniem na biogaz. Fragm. Agron. 2017, 34(2), 67–74.
[65] Bielski, S.; Jankowski, K.; Budzyński, W. The energy efficiency of oil seed crops production and their biomass conversion into liquid fuels. Przem. Chem. 2014, 93(12), 2270–2273.
[66] Izdebski, W.; Skudlarski, J.; Zając, S. Wykorzystanie surowców pochodzenia rolniczego do produkcji biopaliw transpor-towych w Polsce. Rocz. Nauk. SERiA 2014, 16(2), 93–97.
[67] Jankowski, K.; Dubis, B.; Budzyński, W.; Bórawski, P.; Bułkowska, K. Energy efficiency of crops grown for biogas production in a large-scale farm in Poland. Energy 2016, 109, 277–286.
[71] Góral S., 1999. Wartość użytkowa topinamburu (Halianthus tuberosus L.), „Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych”, t. 468.
[72] Rokosz E. 2010 Uprawa roślin energetycznych. Barzkowice

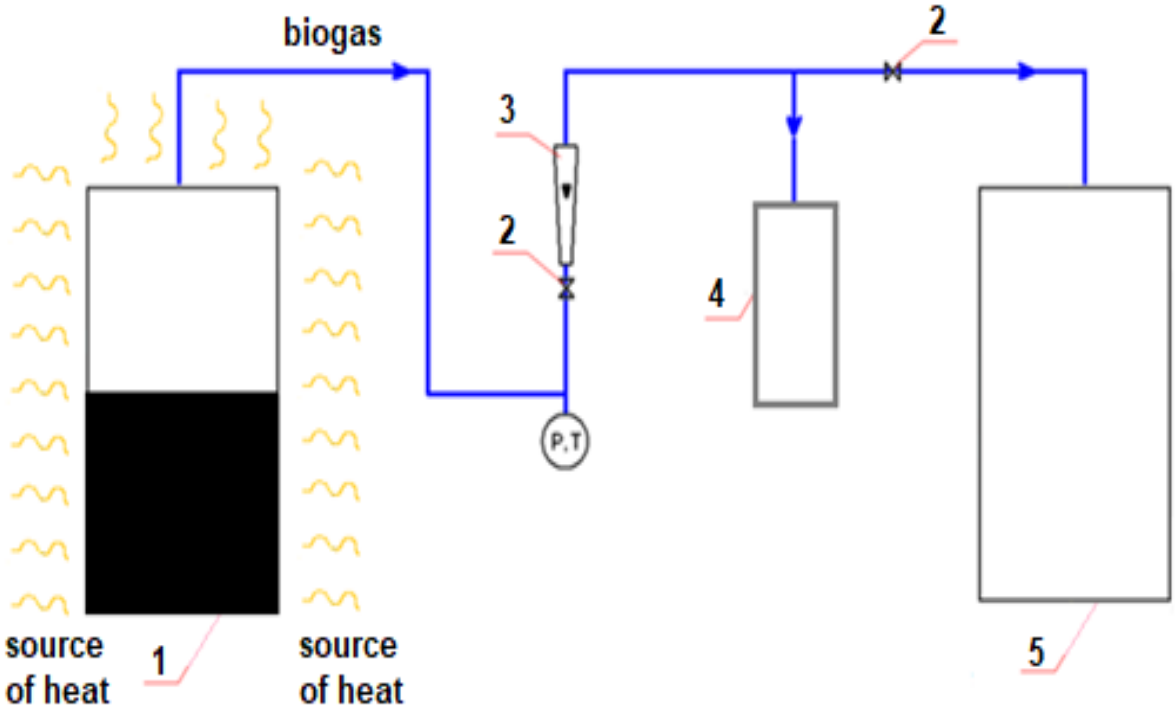
[75] Kowalczyk-Juśko, A.; Cholewińska, E. Możliwości energetycznego wykorzystania biomasy słonecznika bulwiastego (Helianthus tuberosus L.). Konferencja EKOENERGIA ‘2012 : Energia odnawialna w nauce i praktyce 7 ; 26-27.10.2012 ; Lublin, Polska.
[76] Kowalczyk-Juśko, A.; Jóźwiakowski, K.; Gizińska, M.; Zarajczyk, J. Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus L.) as renewable energy raw material. TEKA Komisji Motoryzacji I Energetyki Rolnictwa.
[85] Gregorczyk, A.; Wereszczaka, J.; Stankowski, S. Wykorzystanie biomasy rdestowca ostrokończystego (polygonum cuspidatum siebold & zucc.) do celów energetycznych. Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin. Agric., Aliment., Pisc., Zootech. 2012, 293 (21), 35–40.
[90] Tworkowski, J.; Szczukowski, S.; Stolarski, M.J.; Kwiatkowski, J.; Graban, Ł. Produkcyjność i właściwości biomasy ślazowca pensylwańskiego jako paliwa w zależności od materiału siewnego i obsady roślin. Fragm. Agron. 2014, 31(2), 115–125.
[95] Kupryś-Caruk M., 2017a. Wpływ preparatu enzymatycznego na kinetykę produkcji biogazu z miskanta olbrzymiego (Miscanthus x gigantem J.M. Greef & M. Deuter). Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 2, 41-42.
[99] Buzar,M.;, Galek, R.; Góra, J.; Grzyś, E.; Hurej, M.; Kotecki, A.; Kozak, M.; Piszcz, U.; Pląskowska, E.; Pusz, W.; Sawicka-Sienkiewicz, E.; Spiak, Z.; Szlachta, J.; Twardowski, J.; Zalewski, D.; Zbroszczyk, T.; Zdrojewski, Z. Uprawa miskanta olbrzymiego. Energetyczne i pozaenergtyczne możliwości wykorzystania słomy. Pod redakcją A. Koteckiego. Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wrocław 2010, ISSN 1898-1151, ISBN 978-83-60574-96-6.
[109] Kowalczyk-Juśko, A. Biometryczne i energetyczne parametry spartiny preriowej (Spartina pectinata Link.) w trzech pierwszych latach wegetacji. Problems of Agricultural Engineering s, 2013, (IV–VI): z. 2 (80) 69–77.
[110] Nesheim L., Jørgensen U. 2011. Rozwój roślin energetycznych w krajach nordyckich (w:) A. Grzybek (red.), Modelo-wanie energetycznego wykorzystania biomasy. Warszawa.
[112] Grzelak, M. Plonowanie szuwaru mozgowego oraz skład chemiczny i wartość energetyczna mozgi trzcinowatej. FRAGM. AGRON. 2009, 26(4), 38–45.

[113] Harkot, W.; Warda, M.; Sawicki, J.; Lipińska, T.; Wyłupek, T.; Czarnecki, Z.; Kulik, M. Możliwości wykorzystania runi łąkowej do celów energetycznych. Łąk. Pol. 2007, 10: 59–67.
[114] Rogalski, M.; Sawicki, B.; Bajonko, M.; Wieczorek, A. Wykorzystanie rodzimych gatunków traw jako odnawialnych źródeł energii. Monogr. (red. M. Ciaciura). Wyd. Optimex Szczecin, 2005, 15–25.
[115] Dadrach, A.; Gąbka, D.; Szlachta, J.; Wolski, K. Wartość energetyczna kilku gatunków traw uprawianych na glebie lekkie. Łąk. Pol. 2007, 10: 29–35.
[116] Grzybek, A. Wykorzystanie pelet jako paliwa. Czysta Energia, 2005, 6–32.
[117] Łabiak, M.; Fiszer, A.; Świgoń, J. Brykietowanie słomy – ocena wybranych parametrów fizykochemicznych. Wybrane zagadnienia ekologiczne we współczesnym rolnictwie. Wyd. PIMR Poznań, 2005, Monogr. 2: 51–55.
[118] Olejnik, A. Brykietowanie siana metodą zwijania. Teoria i konstrukcja. Wyd. PIMR Poznań, 1974, 67–84.
[122] Martyniak, D. Proso rózgowe cz. 1. Farmer, 2019, 9, 74-75.
[126] Martyniak, D.; Martyniak, J. Podstawowe zasady technologii uprawy perzu wydłużonego odmiany „bamar” na biomasę. Instrukcja. Opracowanie wykonano podczas realizacji Programu Wieloletniego IHAR-PIB 2008 – 2013.

Obornik kozi został pobrany bezpośrednio z miejsca magazynowania, które zlokalizowano na terenie gospodarstwa rolnego w przestrzeni otwartej:
a) materiał A składowany przez 1miesiąc (próbka świeża - mokra);
b) materiał B składowany przez 12 miesięcy (próbka stara - mokra);
oraz na terenie przestrzeni zamkniętej:
c) materiał C składowany przez 12 miesięcy (próbka stara - sucha).

Rys. 13. Produkcja obornika koziego: [Fotografia G. Wałowski].

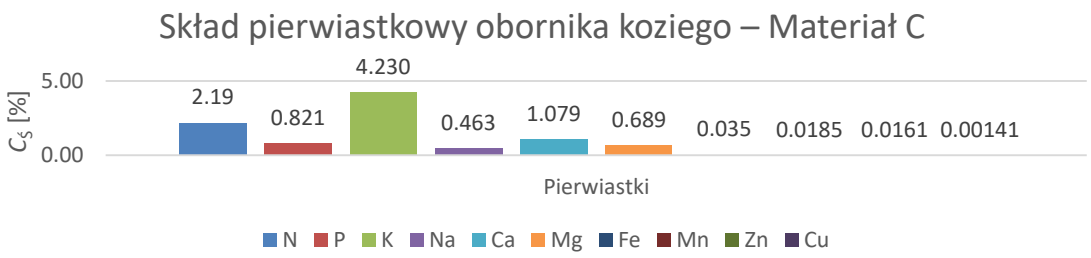
Laboratoryjną produkcję biogazu w złożu obornika koziego przedstawiono na schemacie – Rys. 14. Sposób badania substratu w warunkach laboratowyjnych do produkcji biom-etanu surowego charakteryzuje się tym, że w naczyniu szklanym (fotofermentatorze o pojemności 0,00075 m3) usytuowano złoże w postaci obornika koziego o pojemności 0,000375 m^3. Po uszczelnieniu fotofermentatora poprowadzono elastyczny kanał przepływowy od fotofermentatora do zamkniętego zbiornika stanowiącego magazyn biogazu.



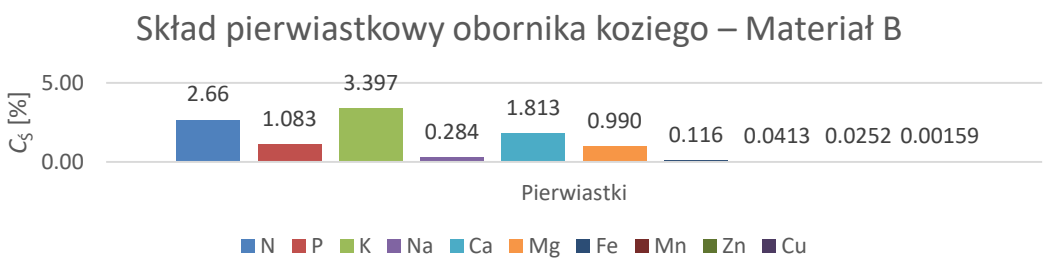
Rys. 14. Stanowisko badawcze do produkcja biometanu w warunkach fotofermentacji na złożu obornika koziego (prepared by G. Wałowski): 1 — fotofermentator ze złożem obornika koziego (próbka), 2 — control valve, 3 — rotameter, 4 — analizator gazu, 5 — zbiornik na biogas, P—pressure gauge, T—thermometer.

Interpretacja zmienności zawartości pierwiastków (Rys. 15): niemetali (N, P), metali lekkich (Ca, K, Mg, Na) i ciężkich (Cu, Fe, Mn, Zn).

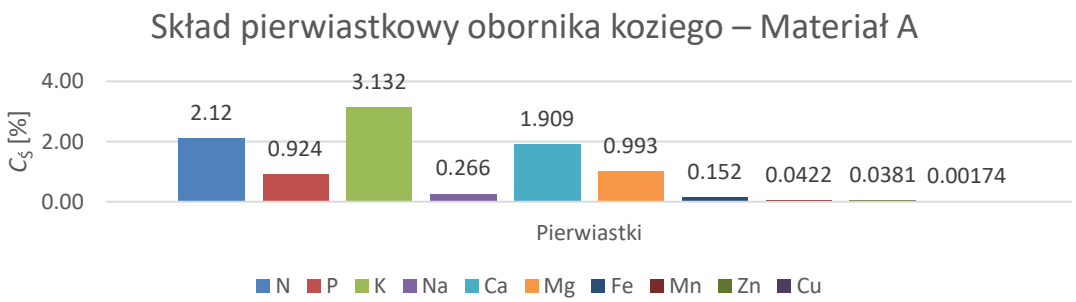
a)



b)

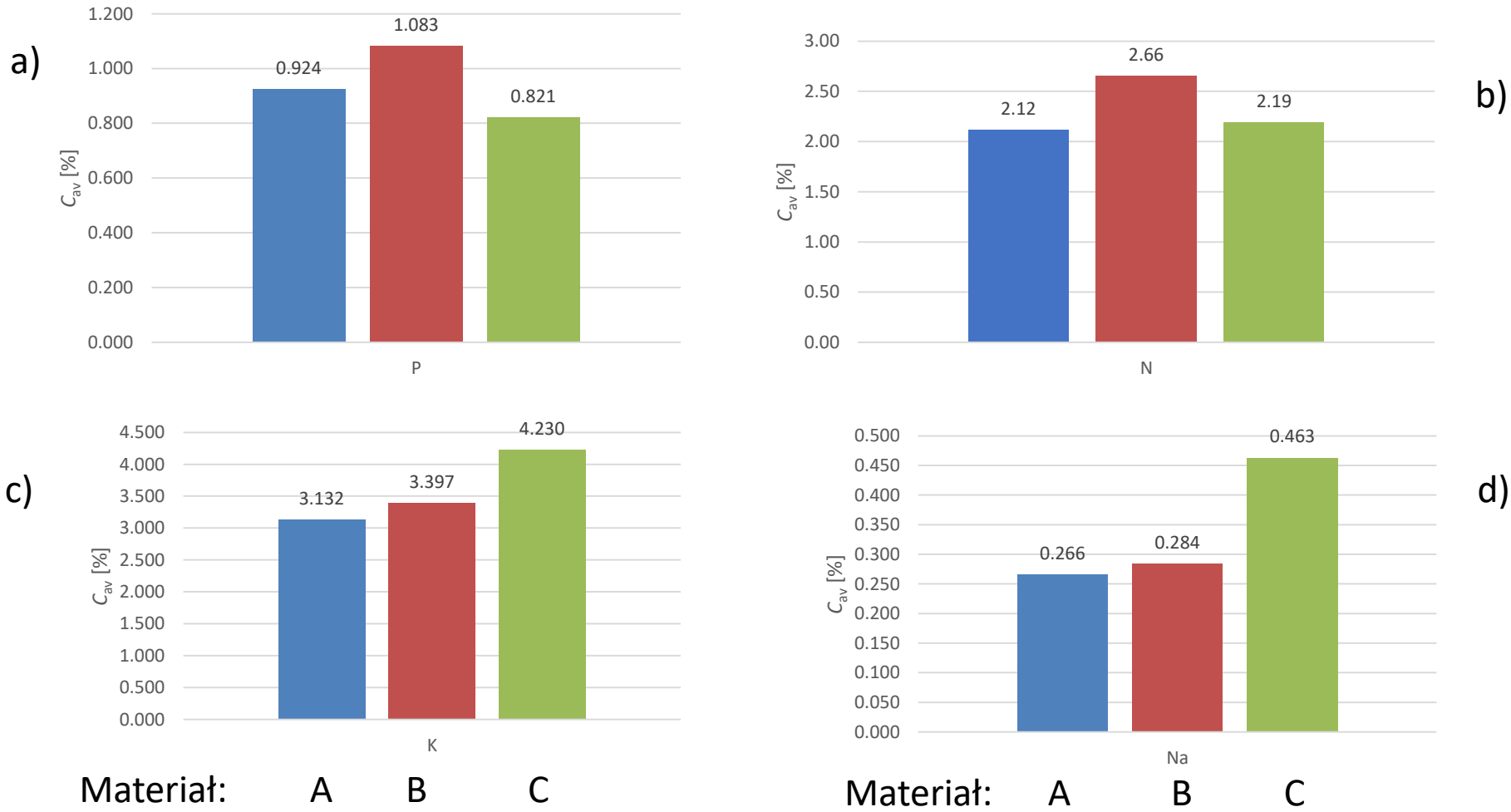


c)

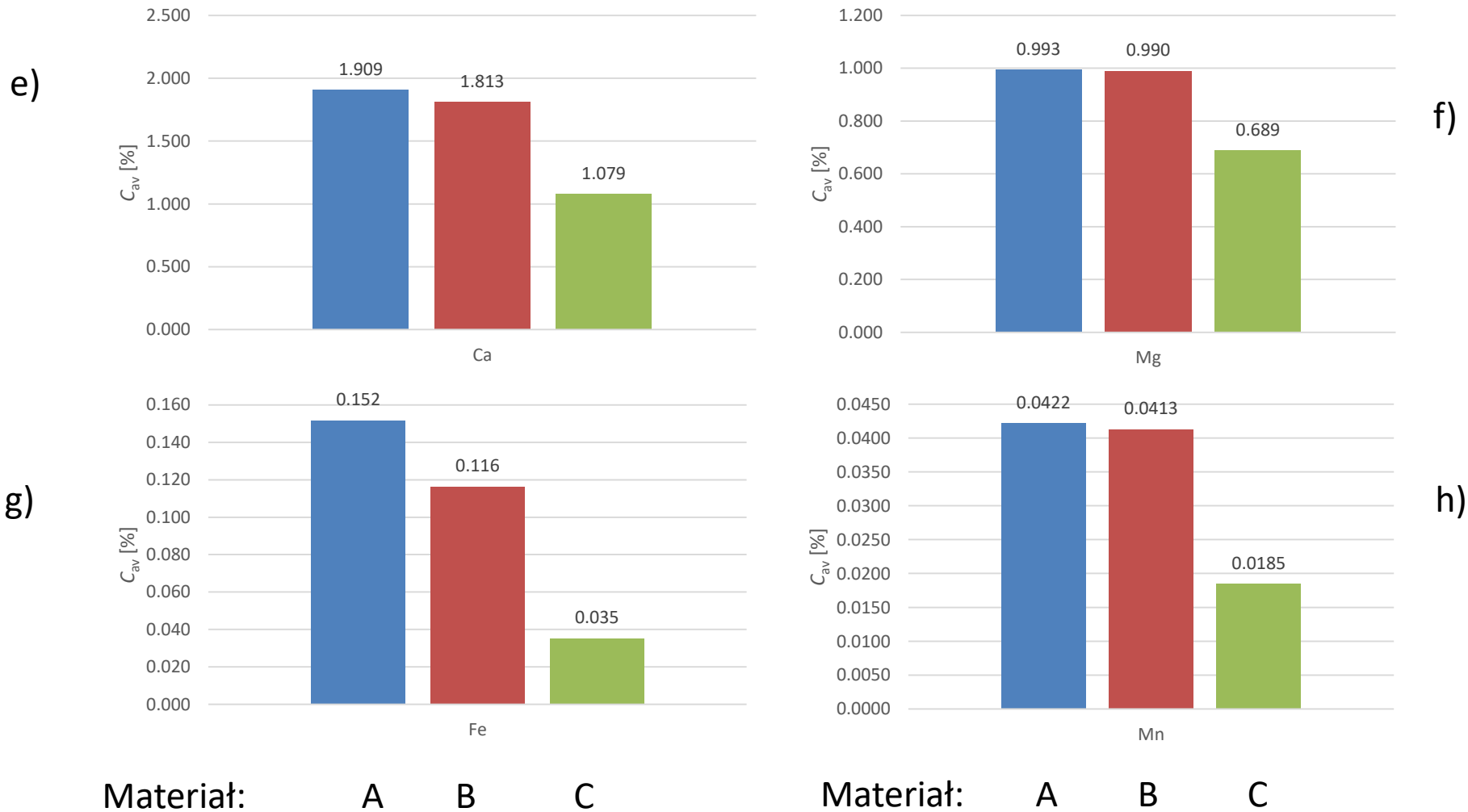


Rys. 15. Skład pierwiastkowy materiału badawczego (opracowanie J. T. Hołaj-Krzak) - obornika koziego: a) materiał A; b) materiał B; c) materiał C.

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



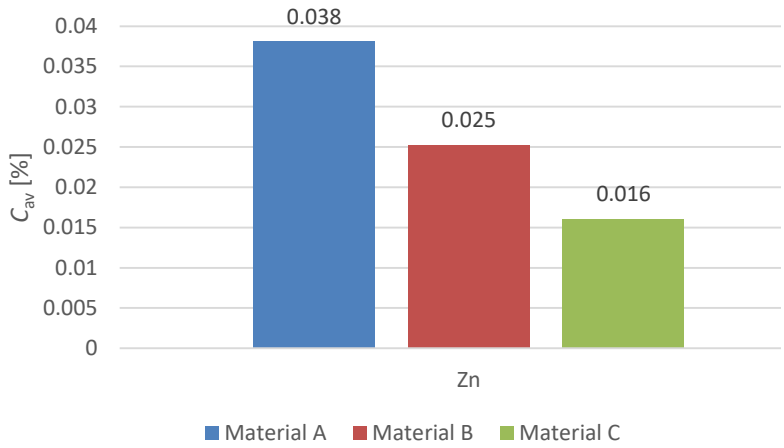
Rys. 16. Zawartość pierwiastków w próbkach nawozu koziego: a) azot; b) fosfor; c) potas; d) sód; (opracował J.T. Hołaj-Krzak).



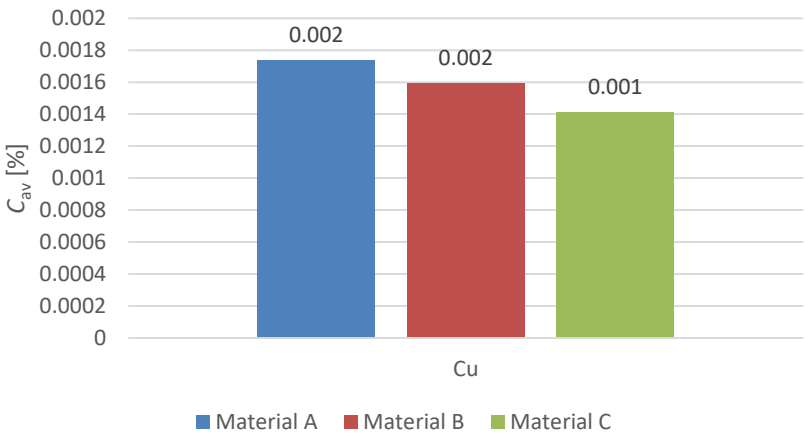
Rys. 16. Zawartość pierwiastków w próbkach nawozu koziego: e) wapń; f) magnez; g) żelazo; h) mangan; (opracował J.T. Hołaj-Krzak).

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

i)



Materiał: A B C



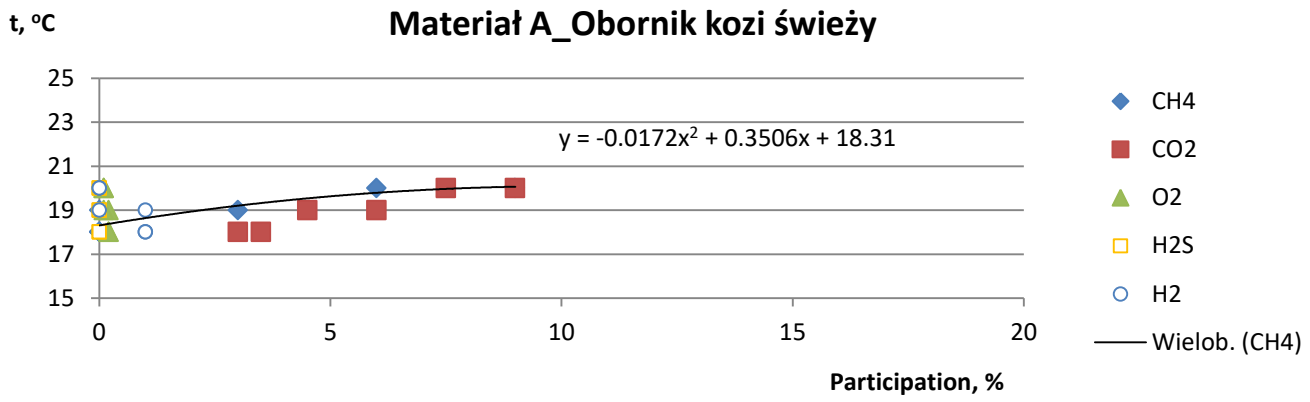
j)

Materiał: A B C

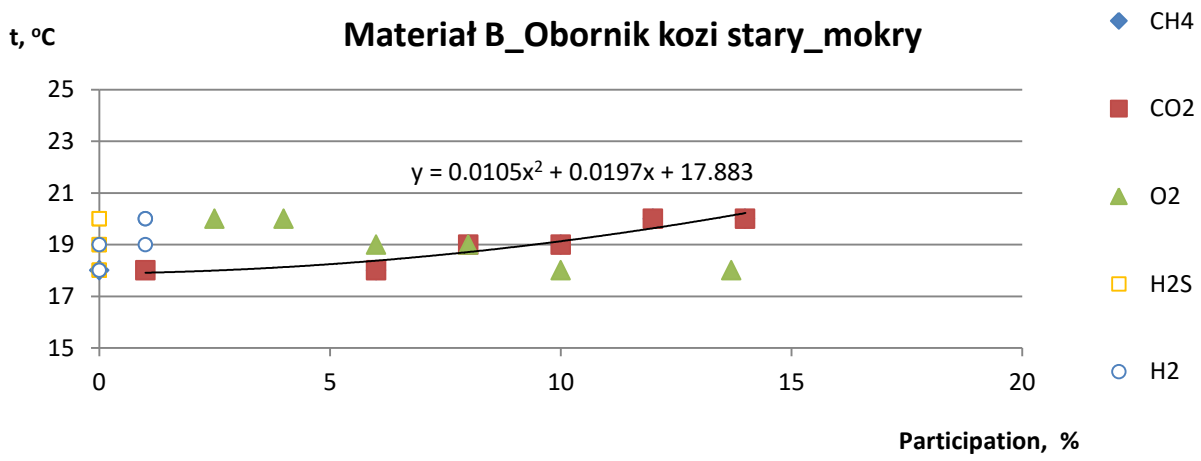
Rys. 16. Zawartość pierwiastków w próbkach nawozu koziego: i) cynk; j) miedź; (opracował J.T. Hołaj-Krzak).

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

a)



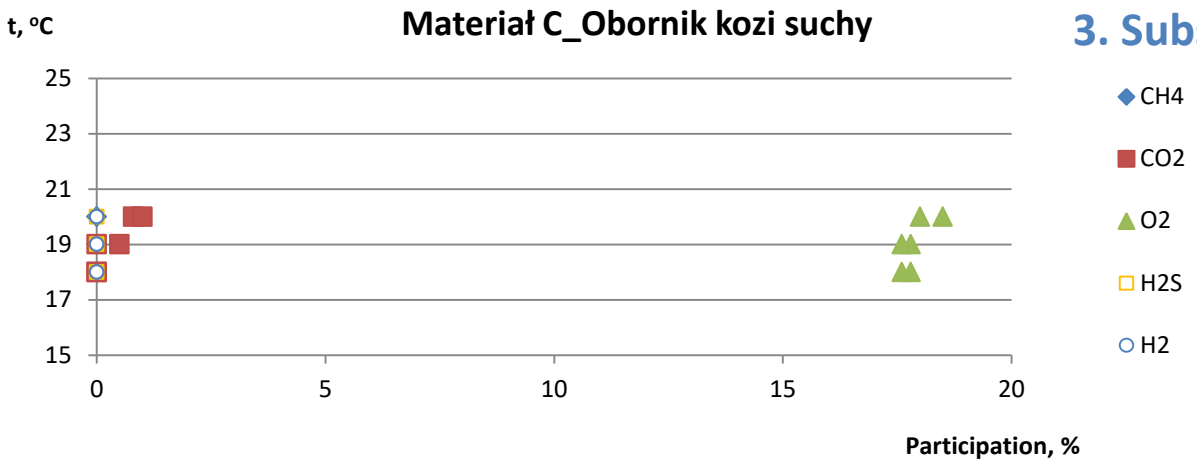
b)



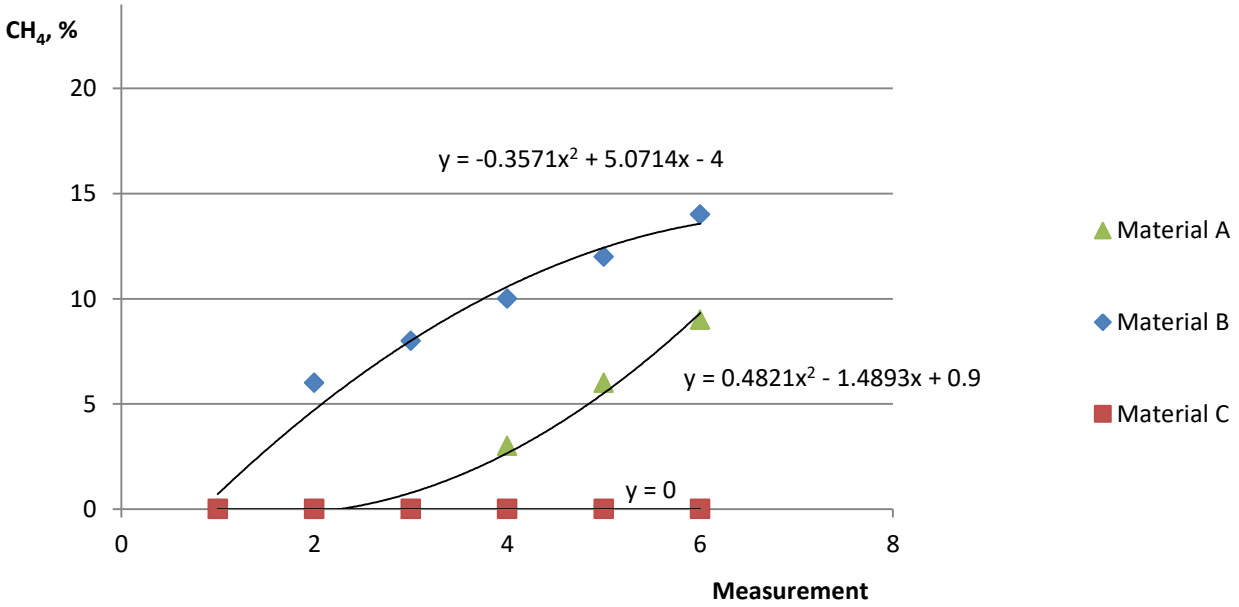
Rys. 17. Produkcja biogazu (biometanu) w zależności od temperatury dla obornika koziego (opracowanie G. Wałowski): a) materiał A; b) materiał B.

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

c)



Rys. 17. Produkcja biogazu (biometanu) w zależności od temperatury dla obornika koziego (opracowanie G. Wałowski): c) materiał C.



Rys. 18. Produkcja biometanu z obornika koziego dla: materiał A; materiał B; materiał C, (opracowanie G. Wałowski).

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

Przedstawiono skojarzone właściwości substratu, jakim jest obornik bydlęcy (krowi - Rys. 19), nawóz naturalny pochodzący z Zakładu Doświadczalnego w Biebrzy przy Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym – Państwowym Instytucie Badawczym w Falentach i użyto do bezpośredniej produkcji biogazu (biometanu) przy zastosowaniu fotofermentatora.

Rys. 19. Produkcja obornika krowiego - przykład: Zakład Doświadczalny w Biebrzy [Fotografia G. Wałowski].

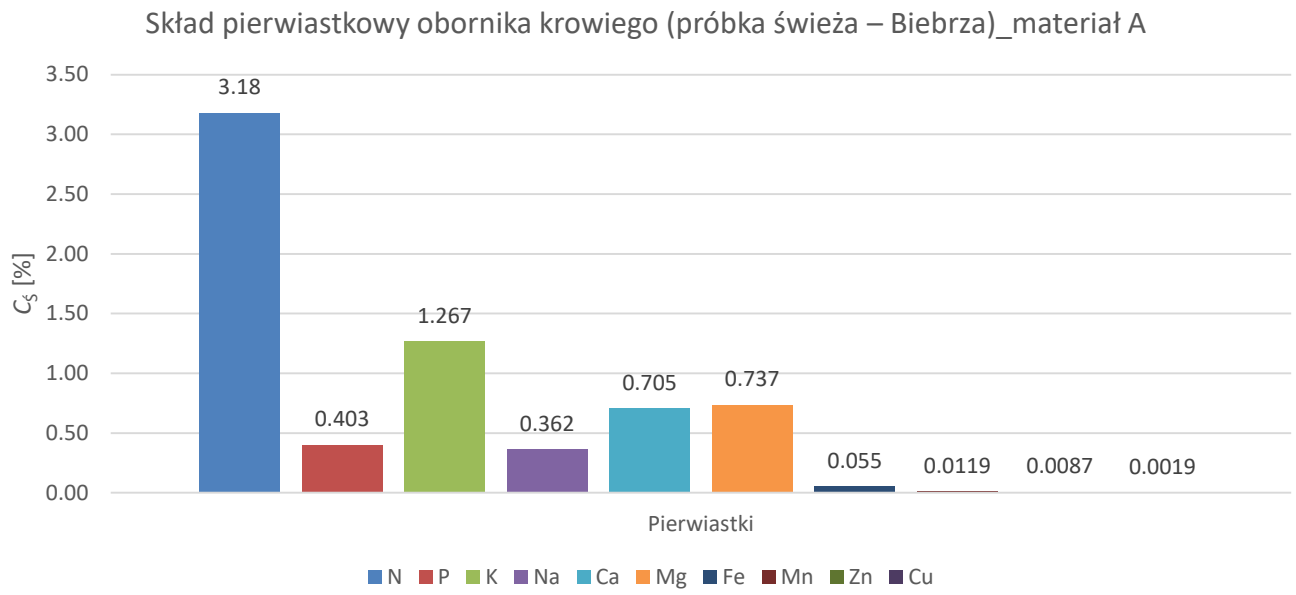
b)

a)

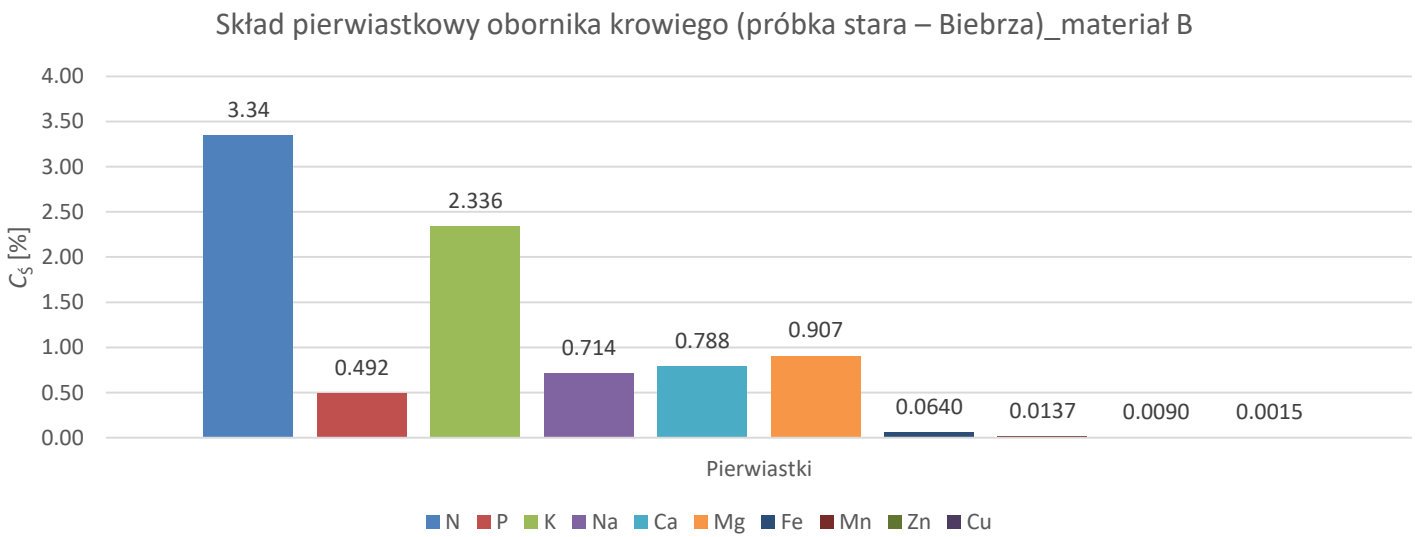
Rys. 20. Miejsce magazynowania obornika krowiego [photo G. Wałowski] - pobór bezpośredni w przestrzeni otwartej: a) materiał A - składowany przez 1 tydzień (próbka świeża - mokra); b) materiał B - składowany przez 1 miesiąc (próbka stara – sucha).

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

a)

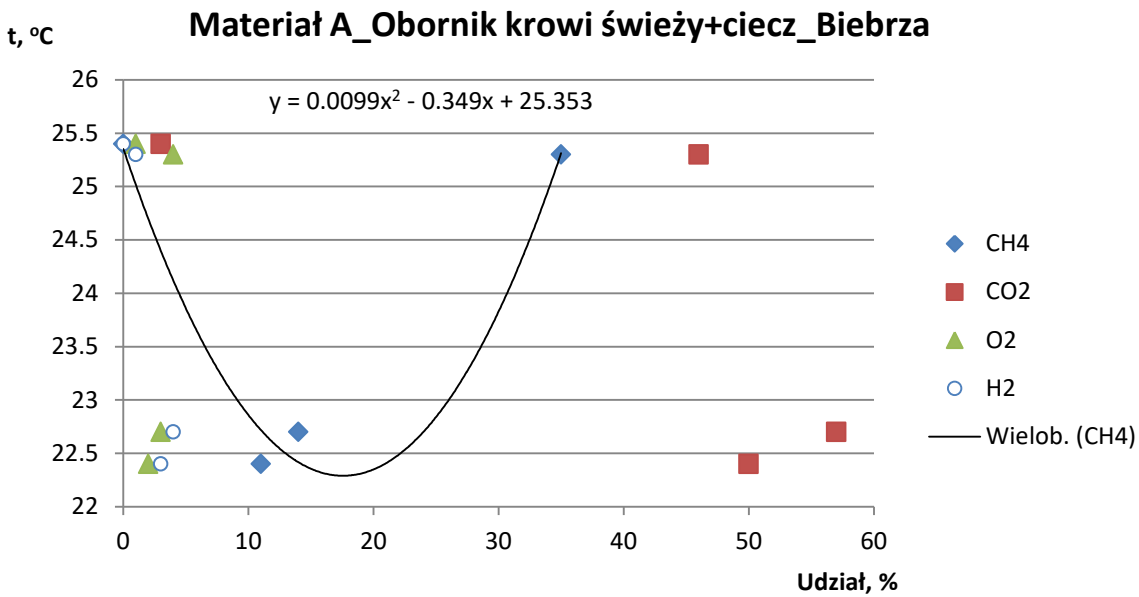


b)

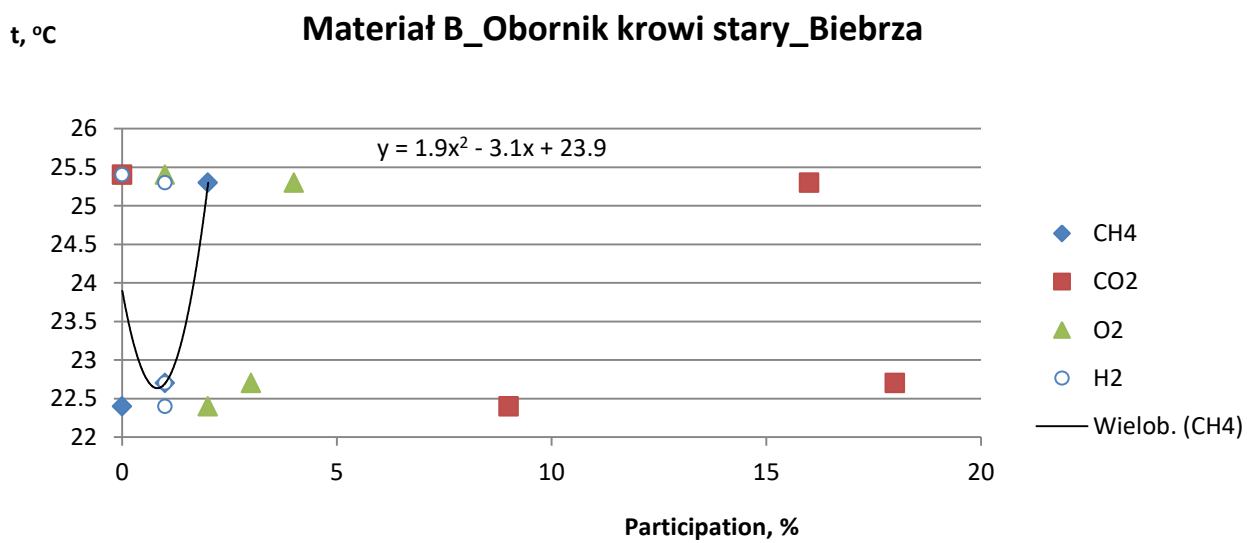


Rys. 21. Skład pierwiastkowy materiału badawczego (opracowanie J. T. Hołaj-Krzak) - obornika krowiego: a) materiał A; b) materiał B.

a)

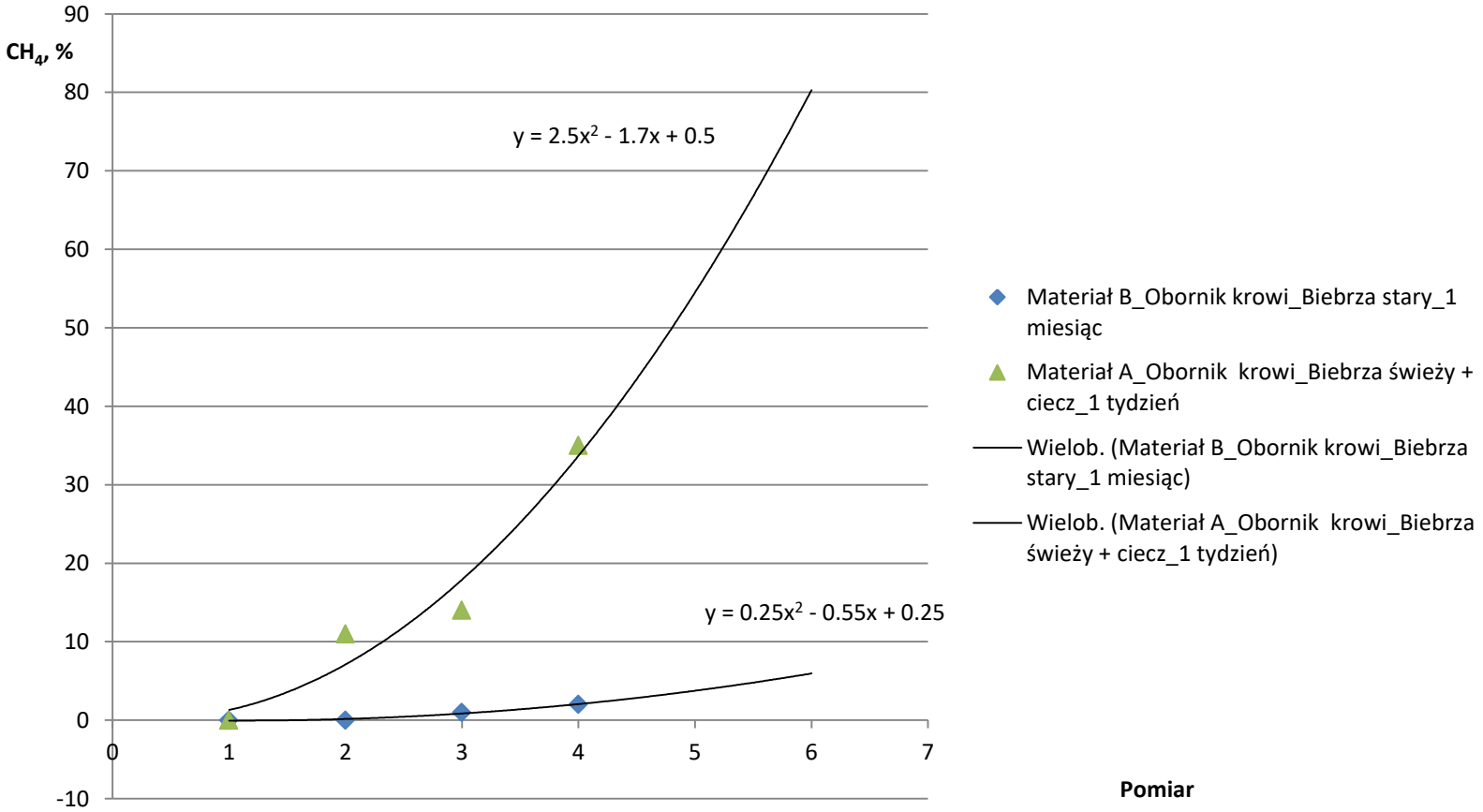


b)



Rys. 22. Produkcja biogazu (biometanu) w zależności od temperatury dla obornika krowiego (opracowanie G. Wałowski): a) materiał A; b) materiał B

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



Rys. 23. Produkcja biometanu z obornika krowiego dla: materiał A; materiał B; (opracowanie G. Wałowski).

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

Technologia produkcji biogazu

Energia z biogazu i biomasy - część I

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

g.walowski@itp.edu.pl