

Kazimierz Brodowicz

Instytut Techniki Ciepłej  
Politechniki Warszawskiej

## BIOGAZ, ZNACZENIE GOSPODARCZE, WYTWARZANIE

W pracy przedstawiono przegląd wiedzy w zakresie techniki produkcji biogazu w świecie i w kraju. W tym celu omówiono podstawowe procesy fermentacji, podczas których wytwarza się biogaz, jak również przedstawiono reprezentatywne rozwiązania stosowanych instalacji.

Szczególne uwagę zwrócono na energetyczne aspekty biogazu. Jego wytwarzanie umożliwiłoby wykorzystanie biomasy na większą skalę, nieużytecznej dla innych celów, ale ciągle odnawialnej, a jak wiadomo prognozy energetyczne lansują odnawialne źródła energii.

Wyniki rozważań ogólnych zilustrowano trzema przykładami, w których przedstawiono skrótkowe obliczenia instalacji o różnych mocach produkcyjnych.

### 1. WPROWADZENIE

Ostatnio, zarówno w świecie jak i w kraju, wystąpił wzrost zainteresowania biogazem, mimo że jest on znany prawie od stu lat. Praca wychodzi naprzeciw tym zainteresowaniom. Przedstawiono w niej: historię i stan aktualny zastosowań, występujące procesy fizykochemiczne, stosowane instalacje, ilustracyjne przykłady obliczeniowe oraz fragmenty analizy ekonomicznej.

Pierwszą dobrze działającą instalację do biogazu zbudowano w 1895 r. w Exter (Anglia). Działała ona szereg lat, a uzyskane w czasie jej eksploatacji doświadczenia wykorzystano przy budowie następnych instalacji tak, że w latach dwudziestych w Anglii działało ich już kilka. W kraju w roku 1928 wybudowano instalację w oczyszczalni ścieków w Poznaniu. Instalacje do produkcji biogazu były również używane w krajach

o ograniczonych zasobach energii, takich jak Francja czy Algieria, a w okresie drugiej wojny światowej w Niemczech. W Indiach w latach trzydziestych propagowano produkcję biogazu z nawozu krów dla potrzeb małych gospodarstw rolnych. Podjęto jednocześnie szeroki program badań nad wytwarzaniem biogazu, ogniskujący się w Agricultural Research Institute w New Delhi. Ośrodek ten w roku 1939 opracował szereg projektów typowych, które rozpowszechniał w postaci broszury zawierającej pełną specyfikację materiałową oraz instrukcje wykonania i rozruchu instalacji przez jej przyszłego użytkownika.

Szersze zainteresowanie, o którym wspomniano we wstępie, wystąpiło po kryzysie energetycznym roku 1974. W roku 1977 zostało zorganizowane przez Akademię Nauk Stanów Zjednoczonych sympozjum poświęcone określeniu stanu wiedzy w tym zakresie. Dorobek Indii odgrywał wiodącą rolę, chociaż i inne kraje Azji miały również pewien wkład. Na Tajwanie rozpoczęto w 1955 r. budowę instalacji do produkcji biogazu z nawozu świń, tak że w 1977 było ich tam przeszło 7 tys. Chińska Akademia Nauk w roku 1972 zorganizowała seminarium propagujące biogaz, a w roku 1977 w Chinach było 30 tys. małych instalacji, w 1981 już 1 mln. W innych krajach, takich jak Uganda, Nowa Gwinea, Meksyk, od początku lat siedemdziesiątych budowane są małe instalacje. Kraje bardziej uprzemysłowione mają również, chociaż w niedużych ilościach, różnego rodzaju instalacje. Ostatnio dość aktywnie propaguje rozwój biogazu RFN.

W kraju, jak wspomniano, pierwszą instalację produkującą 1 tys. m<sup>3</sup>/dobę biogazu uruchomiono w 1928 roku, działającą do chwili obecnej. Dobrze też działa instalacja w oczyszczalni w Częstochowie produkującą 5,5 ÷ 8 tys. m<sup>3</sup>/dobę. Należy tu podkreślić, że w wielu oczyszczalniach ścieków są instalacje do biogazu, ale tylko nieliczne działają sprawnie i gaz jest odbierany. Jest też szereg mniejszych instalacji. W Nowym Modlinie działała instalacja produkująca 10 ÷ 17 m<sup>3</sup>/dobę, z dwoma fermentatorami po 30 m<sup>3</sup>, obecnie nie jest ona czynna, a w Niwach Okraglik przy tuczarni (700 tuczników) Zakładu Energetycznego w Częstochowie instalacja z produkcją 40 ÷ 50 m<sup>3</sup>/dobę z dwoma fermentatorami po 70 m<sup>3</sup>. Na podstawie dokumentacji OBR TOR w Tarnowie zbudowano około 10 instalacji, w tym 8

w gospodarstwach indywidualnych z fermentatorami po 10 i 25 m<sup>3</sup>, w Przyborowie znajduje się instalacja do biogazu z odpadków warzyw, z trzema fermentatorami po 10 m<sup>3</sup>, w Bochni w młeczarni z fermentatorem 2,5 m<sup>3</sup>. IBMER wybudował i uruchomił instalację doświadczalną w Żółwinie.

## 2. RÓŻNE ASPEKTY ZWIĄZANE Z ZASTOSOWANIEM BIOGAZU

W literaturze rozważane są trzy aspekty związane z produkcją biogazu: ochrony środowiska, nawożenia gleby, produkcji gazu dla celów energetycznych. W pracy potraktowano ten trzeci aspekt jako najważniejszy i dlatego jest on nie tylko szerzej omówiony w tym punkcie ale i rozwijany w następnych, zaś dwa pierwsze omówiono w skrócie poniżej.

Aspekt ochrony środowiska jest szczególnie istotny, jeżeli rozpatrzeć produkcję biogazu ze ścieków. Procesy fermentacji metanowej wywołują bowiem dwa skutki istotne dla ochrony środowiska.

Skutek pierwszy to zmiana składu chemicznego przefermentowanej substancji organicznej w stosunku do składu ścieków, w wyniku której następuje znaczna neutralizacja szkodliwego oddziaływania ścieków na hydrosferę, a wyjaśnić to można w następujący sposób. Miarą zanieczyszczenia wody są takie parametry jak: ilość rozpuszczonego tlenu, ilość rozpuszczonych substancji organicznych określonych wskaźnikiem BZT (Biochemiczne Zapotrzebowanie Tlenu konieczne do ich rozkładu), stężenie jonów wodorowych (pH) oraz temperatura. Największe zagrożenie dla środowiska wynika z łączenia się substancji organicznych z tlenem rozpuszczonym w wodzie. Przy braku tlenu w wodzie następuje rozkład beztlenowy substancji organicznej, co powoduje powstawanie produktów bardziej toksycznych niż przy rozkładzie tlenowym, które dalej degradują hydrosferę. Podczas fermentacji metanowej usuwa się część substancji organicznej, przez co obniża się wskaźnik BZT. Ponieważ jednak w procesie fermentacji metanowej przerabiana jest na biogaz tylko część

(50 ÷ 70%) substancji organicznej, pozostała nadal stanowi zagrożenie dla środowiska.

Skutek drugi to zmiana własności reologicznych płynu podczas fermentacji, co bardzo ułatwia sedymentację w odstojnikach oczyszczalni ścieków. Dlatego w każdej oczyszczalni ścieków i tak stosowana jest fermentacja metanowa, ale tylko w niewielkich stosuje się uzysk powstającego biogazu.

Aspekt nawożenia gleby ma istotne znaczenie, ponieważ fermentacja metanowa uszlachetnia substancję organiczną jako nawóz gleby. Wprawdzie oceny stopnia tego uszlachetniania są bardzo różne, jednakże większość uznaje wzrost tych zdolności. Spotyka się nawet tezy, że dysponując lepszymi nawozami naturalnymi można ograniczyć produkcję nawozów syntetycznych, dla których podstawowym surowcem jest metan, co poprawia bilans globalny metanu, ale nie jest to w pełni udowodniona teza.

Produkcja gazu w aspekcie celów energetycznych oznacza, że biogaz musi być traktowany jako źródło energii, warto wówczas omówić dwie sprawy. Po pierwsze, jeżeli biogaz ma być gazem energetycznym, warto go porównać z innymi nienaturalnymi gazami, jakimi są gazy produkowane z węgla. Po drugie, w energetyce panują obecnie silne trendy przechodzenia na źródła nowe i odnawialne. Jednym z takich odnawialnych źródeł jest biomasa, którą można przerabiać na biogaz. Warto omówić zasoby biomasy oraz inne technologie przeróbki biomasy na surowce energetyczne.

Z porównania technologii gazu uzyskiwanego z węgla i biogazu wynika szereg różnic. Nie tylko inne są surowce wyjściowe, inny charakter procesów fizykochemicznych, ale i zupełnie inne potencjały produkcyjne.

Gazy z węgla wytwarzane są w stosunkowo wysokiej temperaturze, rzędu kilkuset stopni, w wyniku procesów fizykochemicznych, zwanych ogólnie zgazowaniem, w czasie których zachodzą reakcje chemiczne między węglem a doprowadzoną parą wodną, powietrzem czy tlenem. Natomiast biogaz może być wytwarzany z dowolnej substancji organicznej zmieszanej z dużą ilością wody, w wyniku reakcji biochemicznych występujących w obecności bakterii anaerobowych, przy temperaturze 10, 30, albo 50°C (zależnie od rodzaju bakterii).

Jeżeli chodzi o wielkości produkcyjne, to w stosowanych instalacjach można by wyodrębnić wyraźnie trzy skale produkcyjne: małą  $3 \div 5 \text{ m}^3/\text{dobę}$ , średnią  $50 \div 200 \text{ m}^3/\text{dobę}$  oraz dużą  $5 \div 30 \text{ tys. m}^3/\text{dobę}$ . Tymczasem stosunkowo mała gazownia, np. Szczecin, wytwarza  $200 \text{ tys. m}^3/\text{dobę}$  gazu świetlnego, a duża koksownia, np. Zdzeszowice,  $2 \text{ mln m}^3/\text{dobę}$  gazu koksowniczego. Zatem instalacje do biogazu są nieporównywalne ze skalą produkcyjną reszty gazownictwa, a tym bardziej skromny jest ich potencjał w globalnym bilansie energetycznym. I tak na przykład, gdyby w RFN wszystkie ścieki, które przenoszą 8 milionów ton suchej masy organicznej na rok, wykorzystać do produkcji biogazu można by tyle go uzyskać, że w globalnym bilansie energetycznym stanowiłby 1%. Podobne są prognozy krajowe na rok 2000, w którym około 100 dużych oczyszczalni ma być wyposażonych w instalację do biogazu, produkującą gaz zużywany na własne potrzeby oczyszczalni w ilości  $100 \text{ mln m}^3/\text{rok}$ . Bardziej optymistyczne są prognozy krajowe dotyczące produkcji biogazu z nawozu zwierząt hodowlanych, jedne wymieniają  $1 \text{ mld m}^3/\text{rok}$ , inne  $1,6$ , a jeszcze inne nawet  $6 \text{ mld m}^3/\text{rok}$ . Należy podkreślić, że ta ostatnia liczba jest myląca, wyraża bowiem tylko ogólny potencjał wynikający z ilości hodowanych w kraju zwierząt i aby ją uzyskać należałoby zamontować kilka milionów instalacji, co zupełnie nie jest realne. Niezależnie od tego jak duża będzie produkcja globalna biogazu, musi ona być realizowana w stosunkowo małych instalacjach i może mieć znaczenie lokalne, szczególnie tam, gdzie nie ma gazu miejskiego, a jest na miejscu surowiec do biogazu i możliwość budowy instalacji do jego produkcji, a więc np. w gospodarstwach rolnych.

Ilustracją tendencji przechodzenia na źródła odnawialne energii może być optymistyczna prognoza dla Szwecji, przedstawiona na tle obecnie wykorzystywanych źródeł energii w tabl.1 (dane w procentach udziału poszczególnych źródeł w bilansie energetycznym).

Biomasa ma pochodzić głównie z plantacji leśnych uprawianych na 8% powierzchni Szwecji, kilka procent biomasy ma pochodzić z wodorostów, trawy i trzciny. Światowe prognozy konferencji energetycznej w Nairobi (1981 r.) wykorzystania źródeł nowych i odnawialnych przedstawiono w tabl.2.

T a b l i c a 1

## Źródła energii w Szwecji (w %) i prognozy

Źródło energii Rok	Ropa	Węgiel	Reakcja termojądrowa	Spadki rzek	Spalanie odpadów z lasów	Słońce	Wiatr	Biomasa
1978	72	4	4	12	8	-	-	-
2015	-	-	-	12	12	22% (9% elektryczna, 13% ciepła)	5	49

T a b l i c a 2

Nowe i odnawialne źródła energii w świecie w skali roku w PJ  
(petadžuli, 1 PJ =  $10^{15}$  J)

Rodzaj energii	Rok 1980	Rok 2000
słoneczna	0,01	7 ÷ 10
geotermiczna	0,2	4 ÷ 15
wiatru	0,01	4 ÷ 20
ciepła oceanu	0	0,2 ÷ 2
przyływów morskich	0,001	0,1 ÷ 0,2
wodna (ze spadków rzek)	5,4	10
fal oceanów	0	4
z biomasy (bez drewna i odpadów rolnych)	2 ÷ 2,5	7 ÷ 20
ze spalonego drewna	18 ÷ 29	40 ÷ 60
z węgla drzewnego	2	9
ze spalania nawozu	0,4	0,4
ze spalania torfu	0,06	0,1
z łupków bitumicznych	0,05	3
z piasków roponośnych	0,5	2
ze zwierząt pociągowych	0,7	znaczne

Uwaga: zużycie globalne na świecie w roku 1980 wynosi 324 PJ.

Biomasa i w tej prognozie odgrywa istotną rolę, natomiast jakie są aktualne możliwości jej przeróbki na surowce energetyczne omówiono poniżej.

Istnieją niewielkie możliwości wykorzystania biomasy do celów energetycznych. Bezpośrednio można wykorzystywać drewno, ale jest ono i tak deficytowym materiałem w innych jego zastosowaniach. Po nieznacznej tylko przeróbce z roślin oleistych można by uzyskiwać olej. Jeżeli chodzi o głębsze przerabianie biomasy, to w skali technicznej opanowanych jest bardzo niewiele technologii. Zalicza się do nich produkcja metanolu przez półspalanie drewna, ale o deficycie drewna już wspomiano. Znana jest też dobrze produkcja etanolu na drodze fermentacji a następnie rektyfikacji, ale w ten sposób mogą być przerabiane tylko substancje zawierające cukier lub skrobię, a więc ważne surowce żywnościowe. W stadium eksperymentów znajdują się dwie technologie. Jedna dotyczy otrzymywania olejów przez ekstrakcję odpadków o wysokiej zawartości celulozy za pomocą roztworów alkali przy wysokim ciśnieniu i podwyższonej temperaturze. Niestety tak uzyskiwane oleje, ze względu na dużą zawartość związków aromatycznych i substancji zawierających tlen, szybko się starzeją i mają niską wartość opałową. Druga technologia to uzyskiwanie wodoru na drodze procesów mikrobiologicznych przy wykorzystaniu pewnych kultur alg podczas ich hodowli w specjalnych stawach.

W tej sytuacji produkcja biogazu jest w zasadzie jedyną opanowaną technologią dla przeróbki biomasy, co do jakości której nie ma zbyt wysokich wymagań, wystarcza aby zawierała substancję organiczną. Pozyskanie biomasy w kraju w dostatecznej ilości nie jest łatwe. Ilustracją tego problemu mogą być potencjalne możliwości przedstawione w tabl. 3, ale nie są to wartości realne z uwagi na potrzeby żywnościowe kraju. Nie można też liczyć w naszych warunkach na plantacje specjalnych roślin, które dostarczyłyby biomasę dla celów energetycznych i to zarówno z braku arealu jak i sezonowości takiego przedsięwzięcia. Dlatego u nas do produkcji biogazu mogą być użyte tylko różnego rodzaju odpady, a w tym szczególnie korzystny jest nawóz zwierząt hodowlanych.

T a b l i c a 3

Potencjał możliwości uzyskania surowców energetycznych z biomasy, gdyby cały areal ziemi ornej w kraju (16 mln ha) obsadzić jedną z wymienionych roślin

Roślina	Srednie zbiory [t/ha]	Globalna produkcja [mln t]	Uzyskany surowiec energetyczny
rzepak	1,5	24	olej : 10 mln t
pszenica	1,6	26	etanol : 9,2 mln t
buraki cukrowe	14 (2,5*)	40	etanol : 17 mln t
ziemniaki	15 (4*)	64	etanol : 22 mln t
drzewa las	3,5	77	drewno : 77 mln t

\*) Suchej masy.

### 3. PODSTAWOWE INFORMACJE O PROCESACH FERMENTACJI SUBSTANCJI ORGANICZNYCH WYSTĘPUJĄCYCH PRZY PRODUKCJI BIOGAZU

Jak wspomniano, biogaz może być produkowany z dowolnej substancji organicznej. W literaturze można znaleźć szereg szczegółowych danych dotyczących wydajności i szybkości fermentacji. Między poszczególnymi danymi występują pewne różnice, bo proces fermentacji, jak każdy proces biologiczny, nie powtarza się w sposób identyczny. Dane takie zamieszczone są w tabl.4.

W fermentacji beztlenowej zachodzącej w dwóch fazach: fermentacji kwaśnej oraz fermentacji metanowej, substancje organiczne podlegają przemianom chemiczno-biologicznym. Przebieg każdej z tych fermentacji warunkuje inny rodzaj bakterii beztlenowych. Zachodzące przemiany są przedstawione na schem. 1 i na schem. 2.

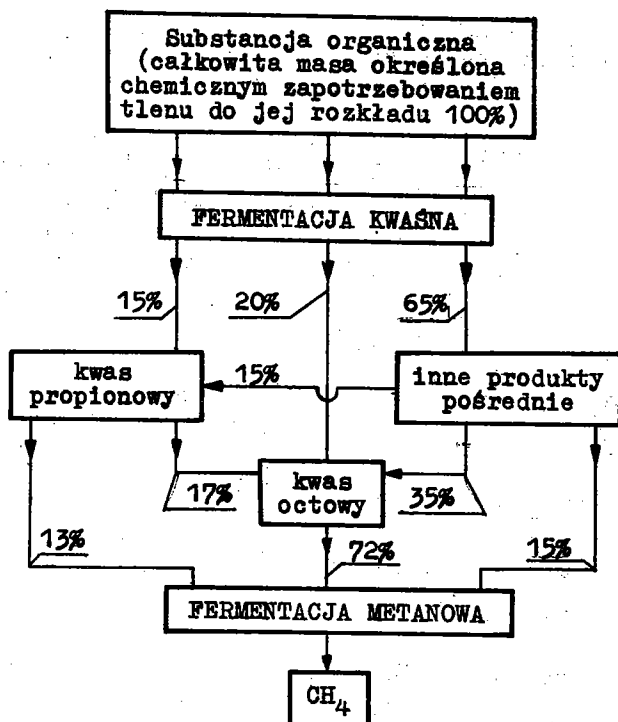
Najważniejszymi produktami fermentacji kwaśnej, dla tworzenia metanu, są kwasy organiczne o niskiej masie cząsteczkowej (np. kwas kapronowy, walerianowy, masłowy itp.). Fermenta-



T a b l i c a 4

## Surowce i ich charakterystyka do produkcji biogazu

Surowiec	Ilość gazu	CH <sub>4</sub> %, obję- tościowo	Czas prze- fermento- wania po- łowy masy suchej [dób]	T [°C]
	$\frac{m^3}{kg \text{ suchej masy}}$			
ścieki komunalne	0,43			
szlam		78	8	30
osady	0,57	70	6	30
makulatura	0,23	63	8	30
odpady poubo- jowe				
jelita	0,09	42	2	30
kręwa	0,16	51	2	30
ścieki mleczarni	0,98	75	4	30
ścieki drożdżow- ni	0,49	85	-	30
ścieki papierni	0,25	60	-	30
ścieki browaru	0,43	76	2	30
ścieki petro- chemii	0,73	30	40	-
obornik koński ze słomą	0,29	75	19	30
obornik koński	0,40	76	16	30
obornik krwi	0,24	80	20	32,5
obornik świński	0,50	60	15	32,0
obornik drobiu	0,56	58	9	50,6
słoma pszenna	0,35	78	13	30
nać ziemniaczana	0,53	75	12	30
liście buraków	0,49	85	2	30
trawa	0,50	84	4	30
żarnowiec 25 mm	0,44	76	7	30
trzcina	0,29	79	18	30
wodorosty	0,32	-	11 ÷ 20	45 ÷ 30

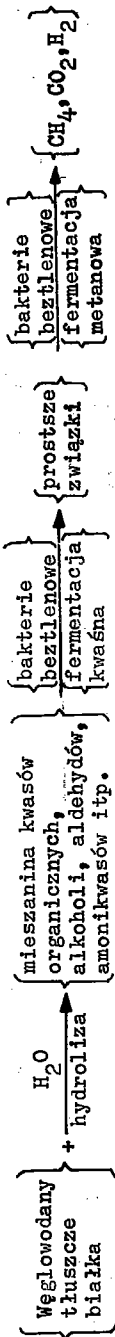


Schemat 1. Przebieg fermentacji beztlenowej wskazujący związki pośrednie i ich relacje ilościowe

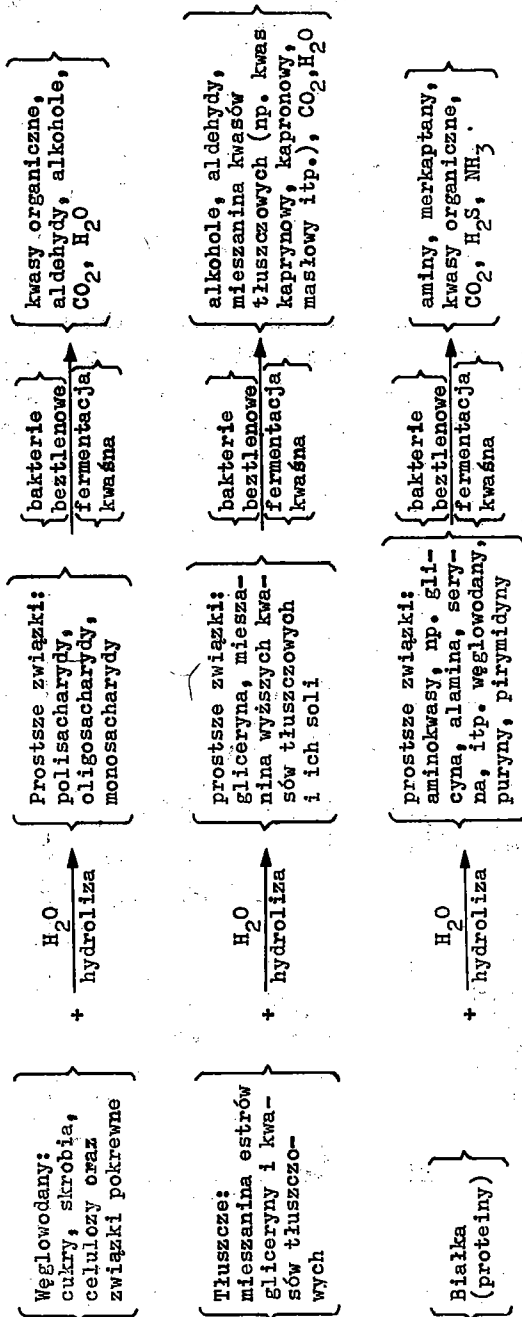
cji kwaśnej towarzyszy wydzielanie nieprzyjemnych zapachów ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ). Przebieg fermentacji kwaśnej węglowodanów, tłuszczów oraz białek ilustruje schem. 3.

W fermentacji metanowej bakterie metanotwórcze rozkładają produkty fermentacji kwaśnej do produktów końcowych jakimi są  $\text{CH}_4$  wraz z  $\text{CO}_2$  oraz niewielką ilością innych gazów w tym  $\text{H}_2\text{S}$ . Przykład fermentacji metanowej kwasu kapronowego i walerianowego podaje schem. 4.

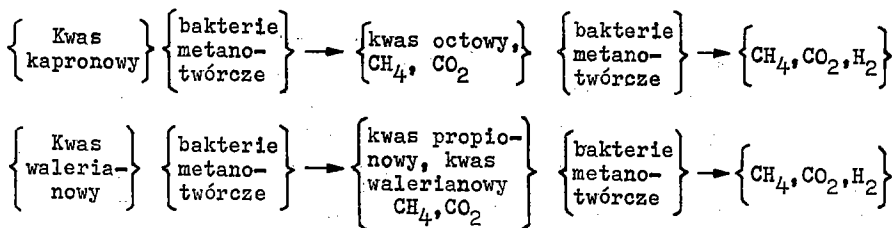
Niezależnie od tego czy fermentator działa w sposób okresowy (napełniany roztworem substancji organicznej, która przebywa w nim do końca fermentacji) czy w sposób ciągły (fermentacji) czy w sposób ciągły (fermentator zasilany jest w sposób



Schemat 2. Fermentacja beztlenowa ważniejszych związków organicznych występujących w przyrodzie

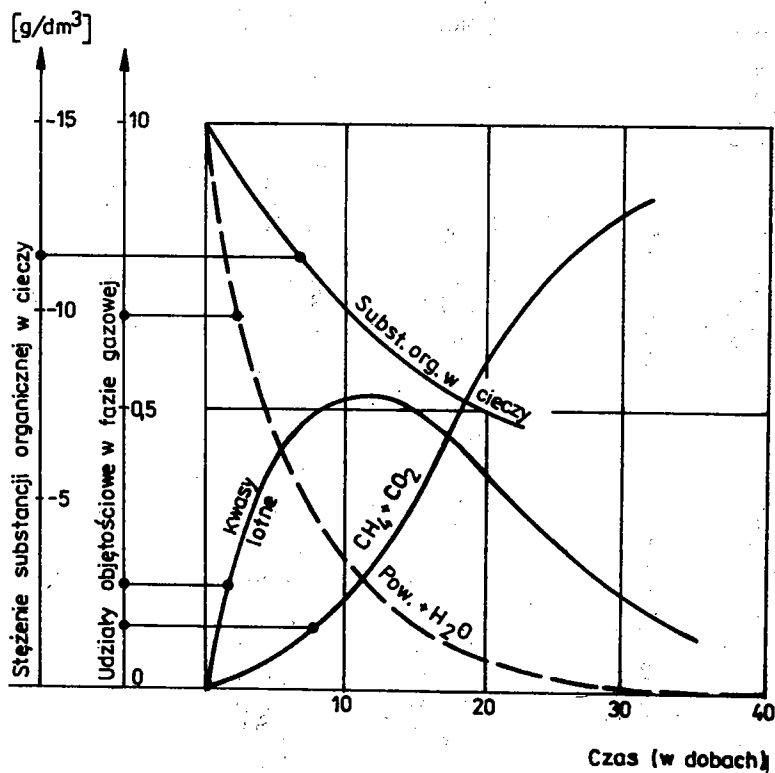


Schemat 3. Fermentacja kwaśna: węglowodanów, tłuszczów, białek



Schemat 4. Fermentacja metanowa kwasów organicznych

ciągły albo np. raz dziennie doładowuje się świeży roztwór i odprowadza przefermentowany), to w miarę upływu czasu przebywania w fermentatorze substancji organicznej następują zmiany stężeń. Przykład takich zmian w fermentatorze okresowego działania podano na rys.1. Natomiast w tabl. 5 przedstawiono



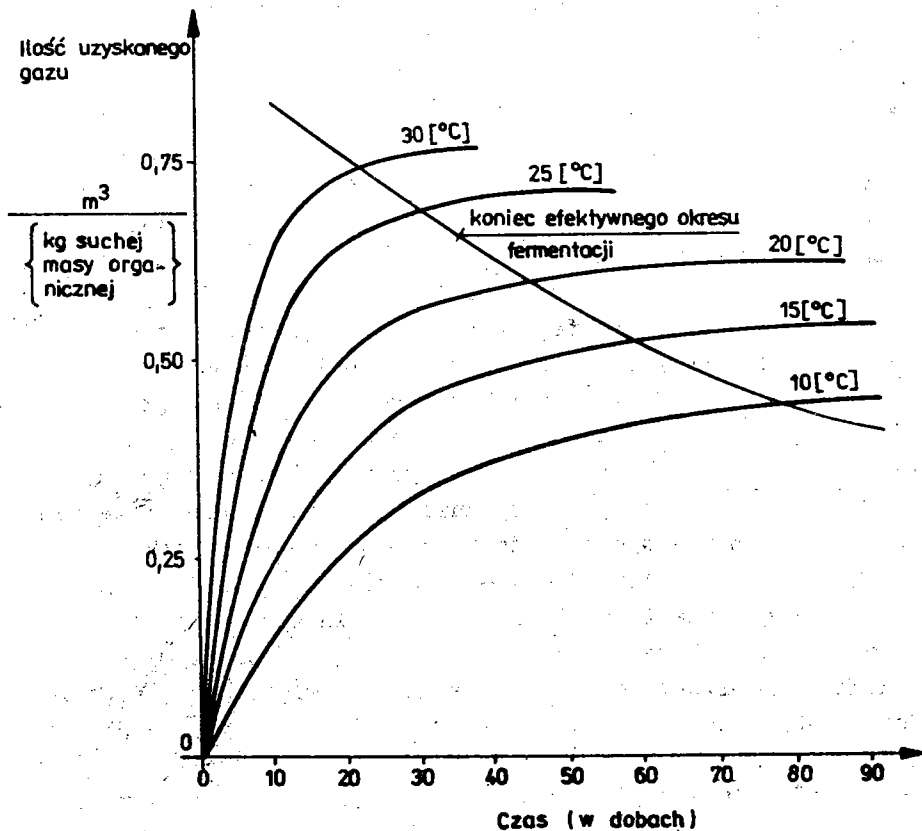
Rys.1. Przykład zmian stężeń w działającym okresowo fermentatorze [10]

T a b l i c a 5

Skład suchego gazu w udziałach objętościowych (w %)

Składniki	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S
%	55 ÷ 65	1 ÷ 3	35 ÷ 45	0 ÷ 3	0 ÷ 1

skład uzyskiwanego biogazu. Wartość opałowa tego gazu wynosi 21 ÷ 23 MJ/kg (5000 ÷ 5500 kcal/m<sup>3</sup>). 1 m<sup>3</sup> tego gazu przy wytwarzaniu ciepła jest w przybliżeniu równoważny: 0,7 l benzyny, 0,8 kg węgla. Usuwając CO<sub>2</sub> uzyskuje się prawie czysty metan 95%.



Rys.2. Możliwa do uzyskania ilość biogazu ze ścieków (tabl.4, poz.1) zależnie od temperatury procesu i czasu trwania fermentacji [9]

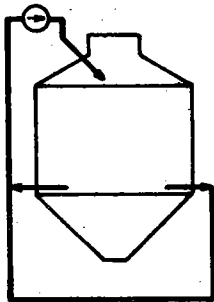
Ilość gazu jaką można uzyskać z 1 kg suchej substancji organicznej zawartej w ściekach (z tabl. 4 poz. 1), zależy w znacznym stopniu od temperatury a w pewnym zakresie i od czasu procesu fermentacji, co ilustruje rys.2.

#### 4. INSTALACJE DO PRODUKCJI BIOGAZU

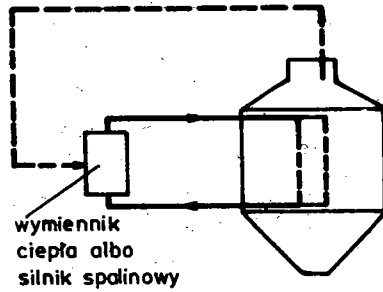
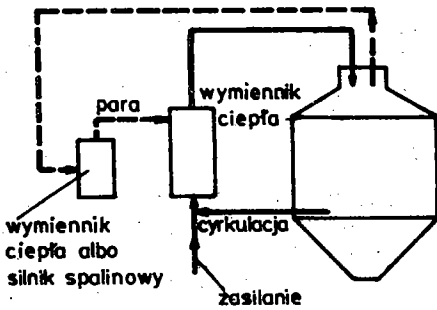
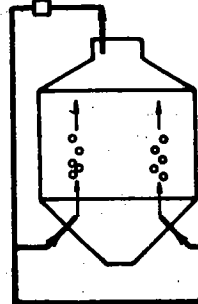
Najbardziej istotną częścią instalacji jest fermentator, który stanowi zbiornik betonowy, w mniejszych instalacjach nawet murowany lub drewniany, a w większych i bardziej nowoczesnych ze stali węglowej albo z tworzyw sztucznych. Malowanie wystarczająco zabezpiecza stalowy fermentator przed korozją. Kształty fermentatorów bywają różne: prostopadłościenne, walcowe, kuliste itp. Jeżeli chodzi o realizację procesu fermentacji w czasie, co jest ściśle związane z warunkami przepływu rozpuszczonej w wodzie substancji organicznej przez fermentator, to rozróżniamy fermentatory, które mogą działać w sposób okresowy, ciągły lub półciągły. W okresowym następuje napełnienie fermentatora, po czym znajdująca się tam substancja poddawana jest fermentacji aż do przefermentowania i wówczas jest usuwana, a fermentator napełniany świeżą. W ciągłym zaś, świeża substancja rozpuszczona w wodzie doprowadzana jest w sposób ciągły i w ten sam sposób odprowadzana. Fermentator półciągły składa się z szeregu równolegle połączonych fermentatorów okresowych. Napełniane są one kolejno z pewnym przesunięciem fazowym tak, że każdy fermentator działa jak okresowy, ale już ich zestaw - w sposób zbliżony do ciągłego. Małe i prymitywne fermentatory, szczególnie działające w gorącej strefie klimatycznej, nie wymagają jakichś zabiegów o charakterze przeplywowym lub cieplnym, w większych - tego rodzaju zabiegi się stosuje i można różnie je zorganizować, co ilustruje rys.3.

Szereg instalacji do produkcji biogazu przedstawiono na rysunkach, począwszy od prostych i małych, kończąc na nowoczesnych średniej wielkości. Rys.4 i 5 pokazują proste i małe instalacje z fermentatorami przeplywowymi zaprojektowane

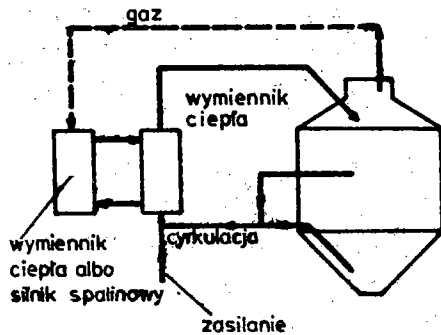
Pompa recyrkulacyjna (mieszająca)



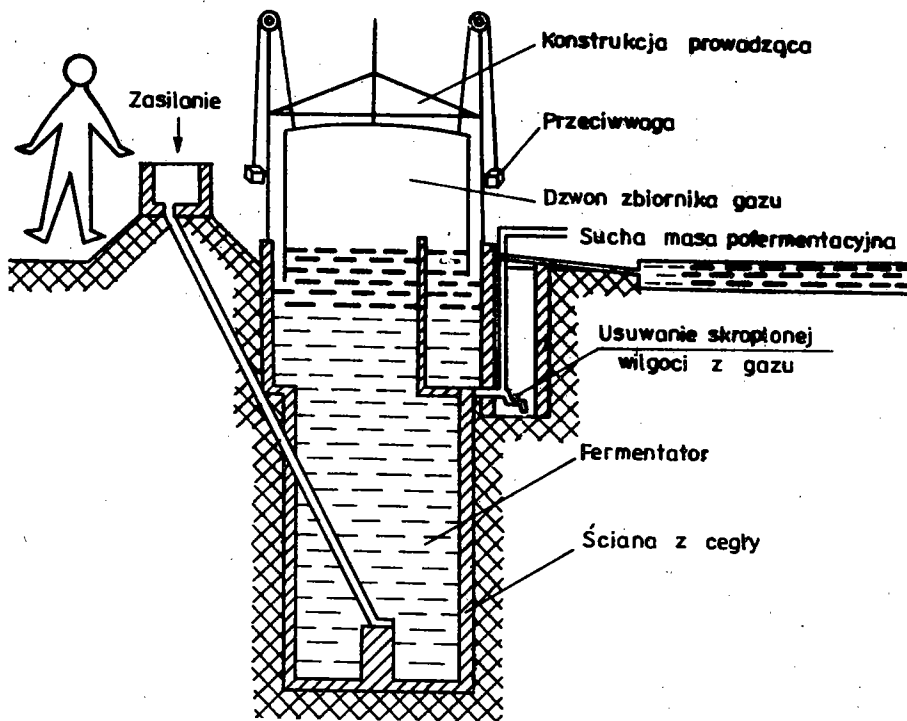
Barbotaż (mieszanie)



Ogrzewanie wodą, grzejnik wewnątrz fermentatora



Rys. 3. Różne warianty fermentatorów zabezpieczające odpowiednie warunki cieplno-przepływowe w fermentatorach [9]



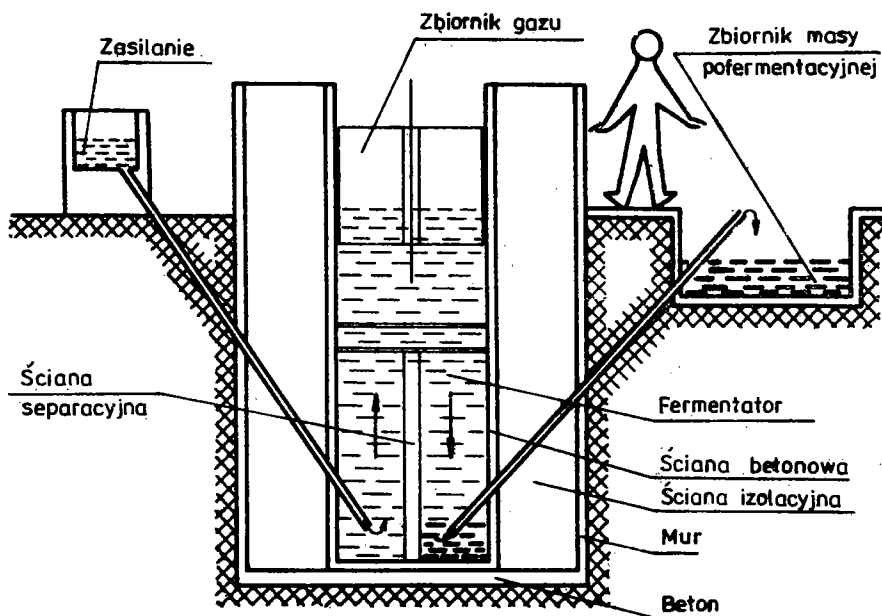
Rys.4. Instalacja Agricultural Research Institute, Indie, z 1939 roku do biogazu z nawozu 7 krów, produkująca 3 m<sup>3</sup>/dobę, objętość fermentatora

w Indiach i wspomniane we wstępie. Instalacje zbudowane na Tajwanie w 1975 roku pokazane są na rys.6 i rys.7, pierwsza z nich wykonana jest z drewna bambusowego, druga z tworzywa firmy Du Pont o nazwie Neopren. Instalacje takie są projektowane dla różnych typoszeregów zależnych od warunków pracy (rys.8).

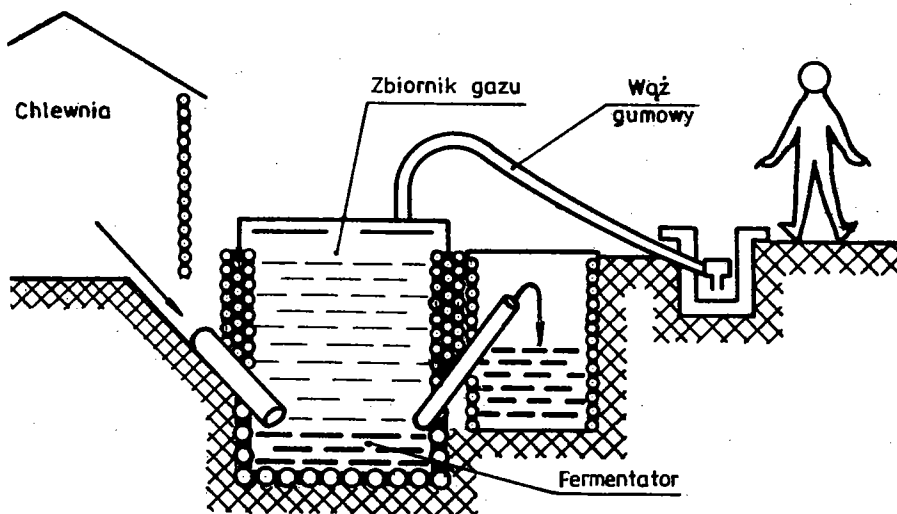
Projekt opracowany przez OZ OBR w Tarnowie w 1980 roku, dla potrzeb indywidualnych gospodarstw rolnych, podano na rys.9, a na rys.10 szczegółową konstrukcję fermentatora.

Oferowane aktualnie na rynku RFN fermentatory przedstawiają rys. 11 ÷ 15, natomiast w p. 6 w tabl. 7 podano ich ceny wraz z cenami instalacji zbudowanych z zastosowaniem tych fermentatorów.

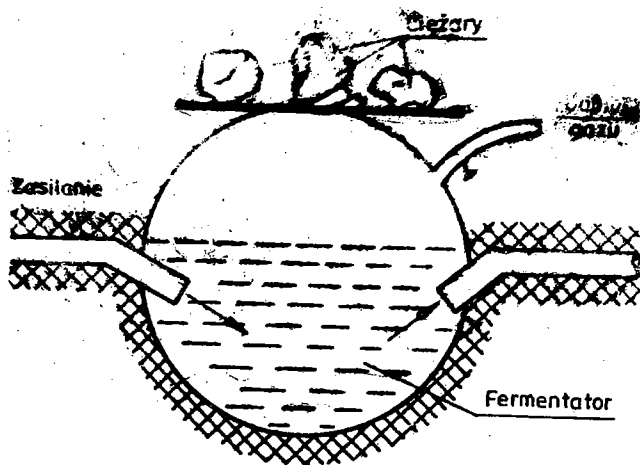




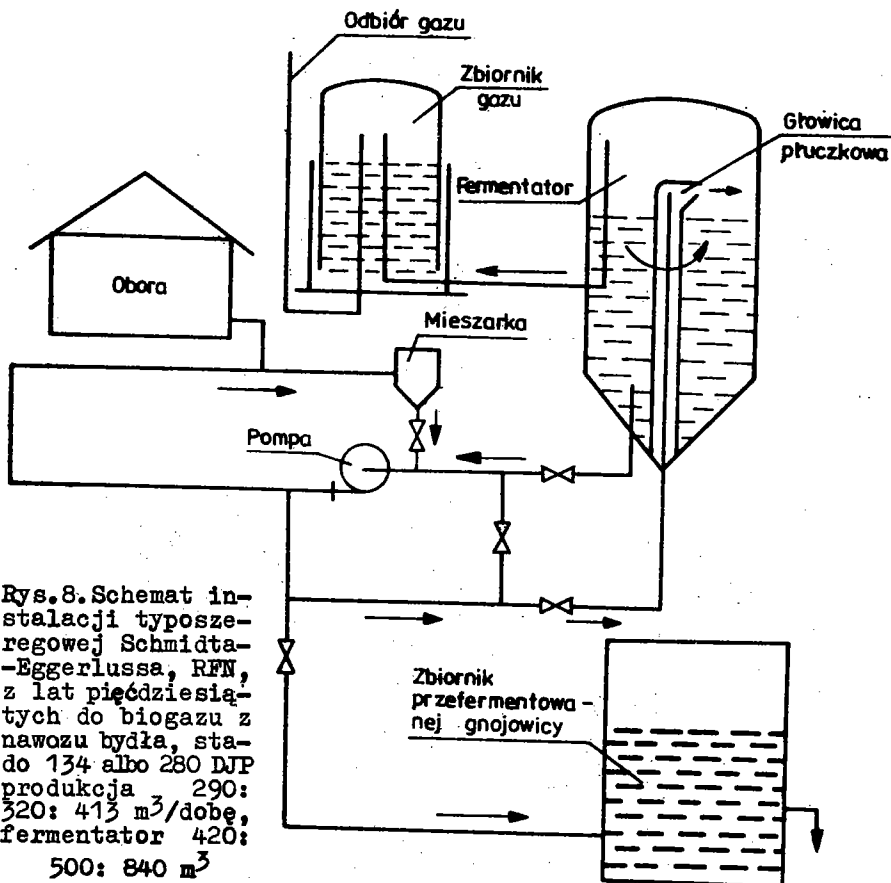
Rys.5. Instalacja Gobar Gas Research Station, Indie, z 1939 roku (skala jak rys.4)



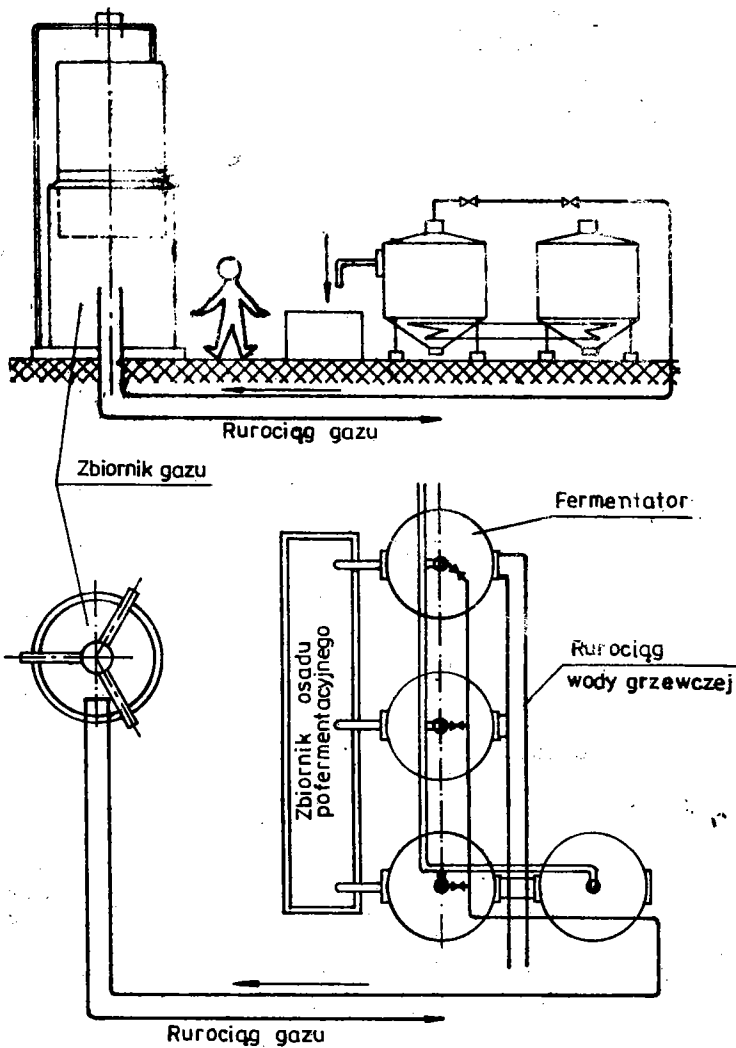
Rys.6. Instalacja zbudowana na Tajwanie w 1972 roku (z drewna bambusowego) do biogazu z nawozu świń, stado 10 ÷ 15 sztuk, produkcja 3,5 m<sup>3</sup>/dobę, fermentator 3,5 m<sup>3</sup> [1]



Rys.7. Fermentator z tworzywa sztucznego Neopren jako alternatywny, do instalacji z rys.6 [1]

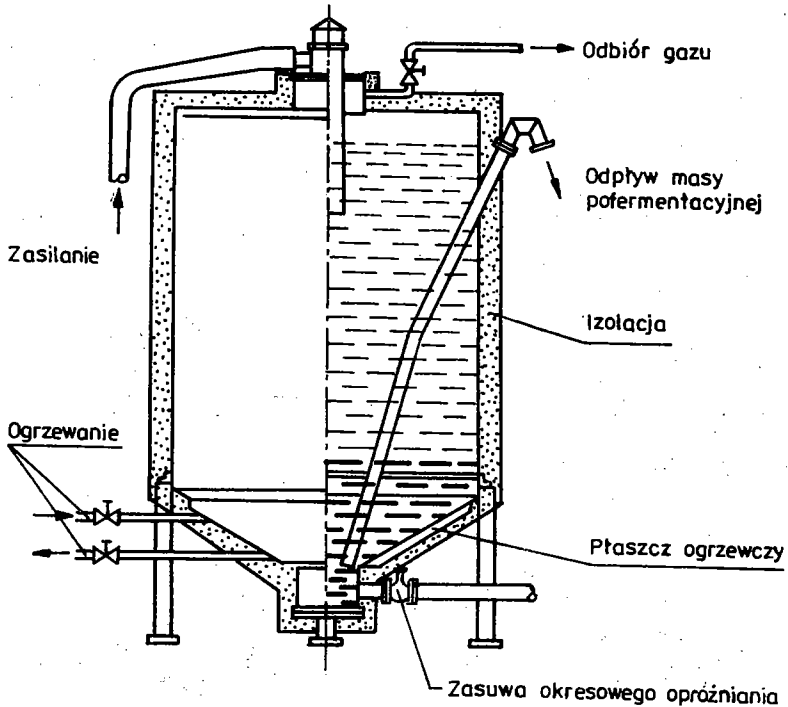


Rys.8. Schemat instalacji typoszeregowej Schmidta-Eggerlussa, RFN, z lat pięćdziesiątych do biogazu z nawozu bydła, stado 134 albo 280 DJP  
 produkcja 290:  
 320:  $413 \text{ m}^3/\text{dobę}$ ,  
 fermentator 420:  
 500:  $840 \text{ m}^3$

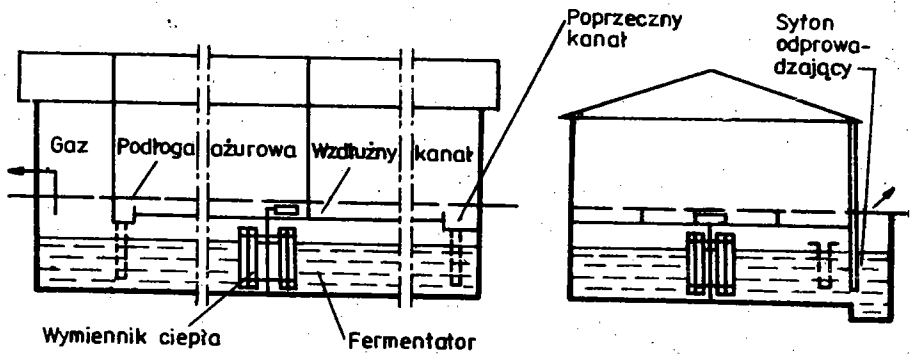


Rys.9. Instalacja OZ OBR TOR w Tarnowie z 1980 roku do biogazu z nawozu bydła, stado 35 DJP<sup>\*)</sup>, produkcja 14 m<sup>3</sup>/dobę, fermentator 10 oraz 25 m<sup>3</sup> [6]

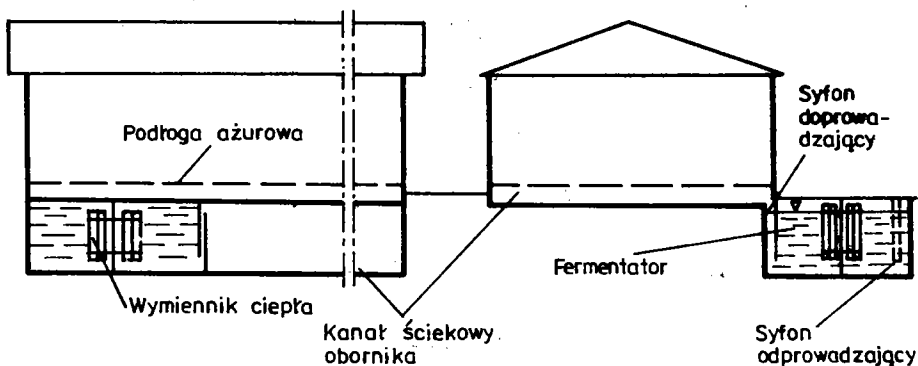
<sup>\*)</sup> Skrót od "Duża Jednostka Przeliczeniowa", co w hodowli oznacza sztukę o wadze 500 kg.



Rys.10. Fermentator 25 m<sup>3</sup> z instalacji przedstawionej na rys.9 [6]

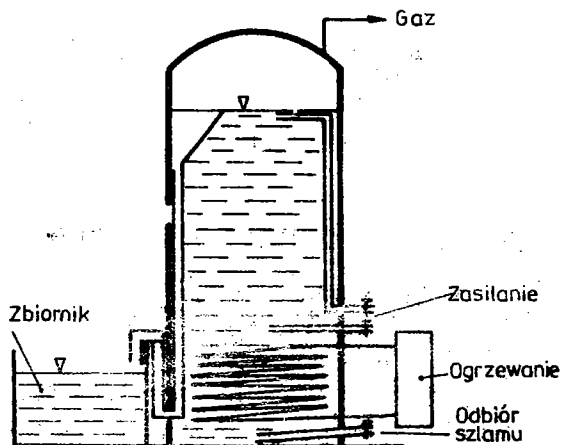


Rys.11. Fermentator 300 m<sup>3</sup> (22 x 8 x 1,8 m) betonowy, umieszczony pod oborą, napełniany do 2/3 wysokości pozostała (1/3) stanowi zbiornik gazu, stado 50 NWP, produkcja 50 m<sup>3</sup>/dobę [4]

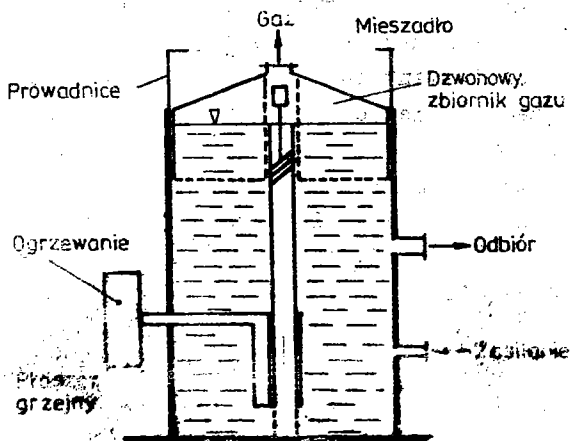


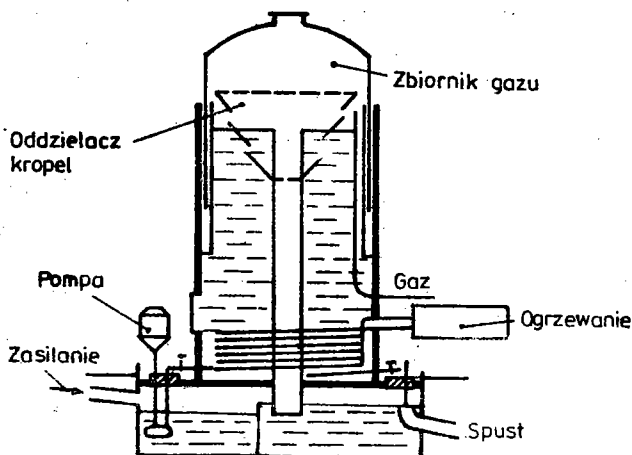
Rys.12. Fermentator 100 m<sup>3</sup> (7 x 5 x 3 m) betonowy, umieszczony obok obory, stado 50 DJP, produkcja 50 m<sup>3</sup>/dobę [4]

Rys.13. Fermentator 70 m<sup>3</sup> (3,5 x 7 m) z tworzywa sztucznego na betonowym fundamencie, stado 50 DJP, produkcja 50 m<sup>3</sup>/dobę [4]



Rys.14. Fermentator 160 m<sup>3</sup> (5 x 8 m) betonowy ze stalowym zbiornikiem pływającym 36 m<sup>3</sup>, stado 100 DJP, produkcja 100 m<sup>3</sup>/dobę [4]





Rys.15. Fermentator 100 cm<sup>3</sup> (4 x 8 m) z materiału laminatowego, stado 65 DJP, produkcja 50 m<sup>3</sup>/dobę [4]

## 5. UŻYTKOWANIE INSTALACJI

Z punktu widzenia użytkowania instalacji wyodrębnić można dwa istotne okresy.

W pierwszym następuje rozruch instalacji, trwający od kilku do kilkunastu dni. Polega on na odpowiednim rozcieńczeniu surowca, zaszczepieniu bakterii oraz uzyskaniu odpowiedniej temperatury i kwasowości w fermentatorze. Istotne dla tego okresu jest wprowadzenie do fermentatora właściwych bakterii. Uzyskuje się to poprzez zaszczepienie wysokowydajnych kultur bakterii uzyskanych z osadów dobrze działającego fermentatora. Przy braku tych kultur rozwój bakterii jest powolny.

Drugi okres to właściwa produkcja biogazu. W fermentatorze o działaniu okresowym trwa on od kilkunastu do kilkadziesiąt dni, w fermentatorze o działaniu ciągłym miesiące a niekiedy i lata. Ważne jest w tym czasie kontrolowanie temperatury, kwasowości. Temperatura nie powinna zmieniać się więcej niż o 2 K, kwasowość pH winna wynosić około 7 i należą ją korygować wodą wapienną gdy spadnie o 0,5. Parametry opty-

malne i dopuszczalne dla okresu właściwej produkcji biogazu zestawione są w tabl. 6.

T a b l i c a 6

Parametry przy fermentacji dowolnej substancji organicznej  
(dla bakterii mezofilnych)

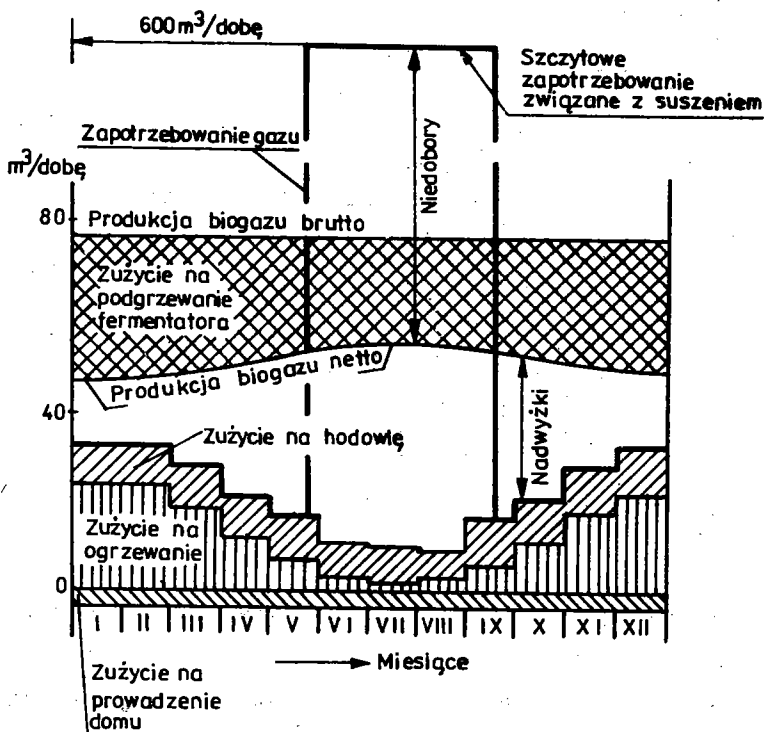
Wielkość	Wartości optymalne	Wartości dopuszczalne
temperatura w fermentatorze °C	30 ÷ 35	25 ÷ 40
kwasowość pH	6,8 ÷ 7,4	6,2 ÷ 7,8
udział masowy suchej substancji organicznej w roztworze	0,05 ÷ 0,07	0,02 ÷ 0,08

## 6. CZYNNIKI DO ROZWAŻAŃ EKONOMICZNYCH

Przeprowadzenie pełnej analizy ekonomicznej stosowania biogazu w kraju nie jest możliwe. Po pierwsze, brak jest w kraju produkcji instalacji o charakterze rynkowym, co określałoby ich cenę. Wykonane bowiem instalacje są prototypami i koszty ich budowy nie odzwierciedlają ich wartości. Po drugie, ceny energii w różnych postaciach bardzo się różnią, przy czym energia w węglu albo w gazie miejskim jest relatywnie tania i prawie z góry wiadomo, że najekonomiczniej będzie korzystać z węgla. Po trzecie, słabo wymierne ekonomicznie są te nieenergetyczne aspekty biogazu, o których mówiono w p. 2.

Z tych powodów nie przeprowadzono takiej analizy. Podano natomiast pewne dane z literatury RFN, które też pełnej analizy ekonomicznej nie przedstawiają, ale wyjaśniają szereg istotnych w tym zakresie problemów. Dane te obejmują bilans zapotrzebowania na biogaz oraz możliwości jego produkcji w gospodarstwie rolnym o charakterze hodowlanym, co ilustruje

rys.16. Należy podkreślić, że szczytowe zapotrzebowanie na biogaz występuje w miesiącach letnich przez około 90 dni. Jest



Rys.16. Zestawienie zapotrzebowania na biogaz i jego możliwości produkcyjne w gospodarstwie rolnym ze stadem bydła 50 DJP [2]

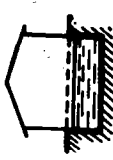
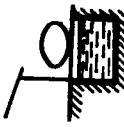
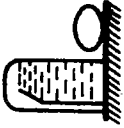
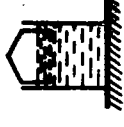
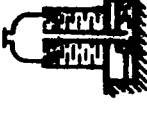
ono związane z energochłonnymi procesami suszenia różnego rodzaju płodów rolnych. W tym okresie produkcja biogazu nie pokrywa zapotrzebowania. Natomiast w pozostałym okresie występuje nadwyżka produkcji biogazu, co stwarza problemy. Rozważa się magazynowanie biogazu w butlach pod ciśnieniem i używanie do napędu traktorów bądź samochodów, albo stosowania agregatów prądotwórczych zasilających sieć, ale nie jest to opłacalne.

Koszty budowy instalacji zestawione są w tabl.7 dla różnych fermentatorów z rys. 11 ÷ 15. Istotne są jedynie koszty inwestycyjne (bez kosztów surowca), ponieważ obsługę prowadzi



T a b l i c a 7

Koszty instalacji do produkcji ~50 m<sup>3</sup>/dobę (netto)  
dostępne na rynku RFN (koszty w DM) [4]

Rodzaj instalacji					
wielkość } m <sup>3</sup> instalacji } DJP	300 50	100 50	80 50	100 50	120 65
koszt } ogólny DM budowy } DM/DJP	23730 476	42940 859	60960 1219	67800 1356	97180 1495
rozbicie kosztów					
- fermentator	11300	16950	24860	28250	42900
- zbiornik	5650	5650	5650	6780	17080
- fundamenty	-	-	4520	-	11300
- ogrzewanie	4000	5650	5650	5650	4520
- pompa	-	-	6750	6750	6750
- rurociągi	-	4520	-	6780	-
instalacje:					
- do gnojownicy	1130	1130	2260	2260	2260
- gazowa	5650	5650	5650	5650	5650
- ogrzewania	-	2260	2260	2260	2260
- elektryczna	-	1130	3390	3390	3390

użytkownik we własnym zakresie, a nakłady eksploatacyjne są minimalne. Wyrażony jest pogląd, że amortyzacja nastąpi w okresie od 10 do 15 lat użytkowania instalacji.

## 7. PRZYKŁADY OBLICZENIOWE

Przykład 1. Obliczenia do produkcji biogazu z nawozu bydła ze stada 7 tys. DJP

Założenia wyjściowe:

temperatura wody wpływającej do fermentatora	10°C,
temperatura otoczenia (najniższa)	-7°C,
temperatura fermentacji	35°C,
sprawność cieplna silnika spaliniowego	0,3,
sprawność regeneracji ciepła w podgrzewaniu wody	0,5,
sprawność generatora elektrycznego	0,85,
maksymalna średnica fermentatora	30 m,
minimalna wysokość cieczy	7,5 m.

Określenie ilości wody wpływającej do fermentatora

woda z nawozem	220 m <sup>3</sup> /d,
woda spłukująca	70 m <sup>3</sup> /d,
całkowita ilość wody	290 m <sup>3</sup> /d,

Obliczenie wielkości fermentatora

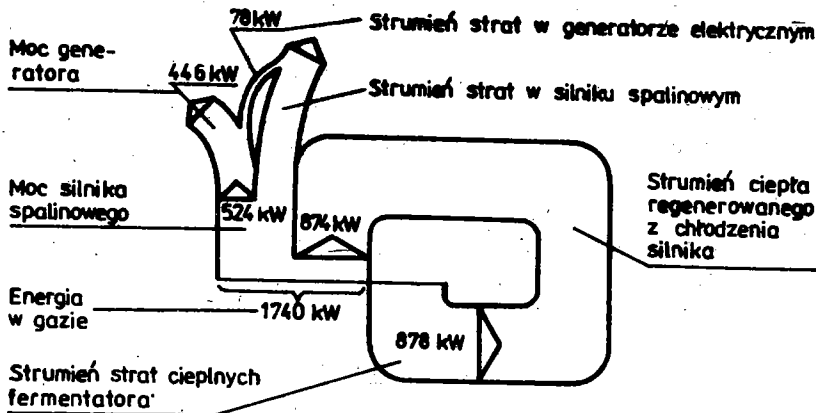
retencja 12,5 dób, stąd objętość	3620 m <sup>3</sup>
wysokość i średnica	12 m; Ø 19,5 m,
powierzchnia zewnętrzna fermentatora	1340 m <sup>2</sup> .

Obliczenia strumieni cieplnych

koniecznych do realizacji procesu wody wpływającej	
ciepło do podgrzania wsadu	3,02 · 10 <sup>10</sup> J/d; (350 kW),
straty cieplne fermentatora	
(k = 9,5 W/(m <sup>2</sup> · K))	4,56 · 10 <sup>10</sup> J/d; (528 kW),
razem	7,58 · 10 <sup>10</sup> J/d; (878 kW).

Produkcja gazu i moce wytwarzane

gaz	6740 m <sup>3</sup> /d
energia gazu (20,1 MJ/kg; ρ = 0,9 kg/m <sup>3</sup> )	1,51 · 10 <sup>11</sup> J/d; (1748 kW)
moc silnika spalinowego (0,3 · 1748)	(524 kW)
moc na zaciskach generatora (0,85 · 524)	(446 kW)
ciepło pozyskane z chłodzenia silnika użyte do ogrzewania fermentatora (0,5 · 1748)	7,55 · 10 <sup>10</sup> J/d; (874 kW).
(w przybliżeniu wartość ta pokrywa straty, tj. 874 ≈ 878 kW)	



Wykres pasmowy bilansu energetycznego do przykładu 1

Przykład 2. Instalacja do produkcji biogazu z brzezki podrożdżowej w Józefowie k. Błonia

Założenie wyjściowe:

temperatura wody (brzezki) wpływającej do fermentatora	30°C,
temperatura otoczenia (najniższa)	-18°C,
temperatura fermentacji	35°C,
istniejące fermentatory	4 sztuki po 800 m <sup>3</sup> ,
powierzchnia zewnętrzna jednego fermentatora	419 m <sup>2</sup> ,

pompa napędzana silnikiem spalinowym  
o mocy 5 kW, strumień energii pierwotnej (w gazie)

$1,3 \cdot 10^8$  J/d; (15 kW),

dobowy ściek wody (brzezki)

$400 \text{ m}^3/\text{d}$ ,

zawartość substancji organicznych

$6400 \text{ kg/d}$ .

Obliczenia strumieni cieplnych  
ciepło do podgrzania wody wpływającej  
z straty ciepłne fermentatora  
( $k = 1,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ )<sup>1)</sup>

$8,3 \cdot 10^9$  J/d; (96 kW),

$1,3 \cdot 10^{10}$  J/d; (156 kW),

razem (uzyskane ze spalania gazu  
ze sprawności 0,85)

$2,16 \cdot 10^{10}$  J/d; (252 kW).

Produkcja gazu

gaz

$3576 \text{ m}^3/\text{d}$ ,

energia gazu

$8,2 \cdot 10^{10}$  J/d; (953 kW).

Oczyszczanie gazu

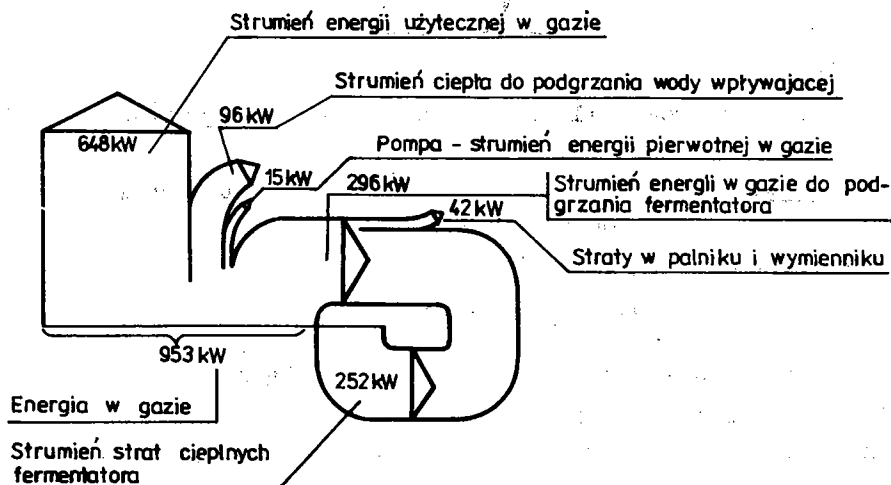
z siarkowodoru:  $10 \text{ m}^3$  rudy darniowej

Zbiornik na gaz

1/8 do 1/4 produkcji dobowej

$1000 \text{ m}^3$

średnica basenu 15 m, głębokość basenu 6,3 m, ciężar zbiornika 60 t, ciśnienie statyczne  $140 \text{ mm H}_2\text{O}$ .



Wykres pasmowy bilansu energetycznego do przykładu 2

<sup>1)</sup> Wartość przy dobrej izolacji fermentatora

Przykład 3. Obliczenie produkcji biogazu z typowego w przyszłości gospodarstwa rolnego w kraju (pow. 15 ha, 25 DJP) w sprzężeniu ze sprężarkową pompą ciepła napędzaną silnikiem spalinowym na biogaz.

Założenie wyjściowe:

temperatura zimnej wody  $10^{\circ}\text{C}$ ,  
temperatura otoczenia  $-10^{\circ}\text{C}$ .

Określenie ilości wody wpływającej

do fermentatora  
woda z nawozem  $1,25 \text{ m}^3/\text{d}$ ,  
woda spłukująca  $0,3 \text{ m}^3/\text{d}$ ,  
całkowita ilość wody  $1,4 \text{ m}^3/\text{d}$ .

Obliczenie wielkości fermentatora

retencja 20 dób, stąd objętość  $30 \text{ m}^3$ ,  
wysokość i średnica  $4,2 \text{ m}$ ,  $\varnothing 3 \text{ m}$ ,  
powierzchnia zewnętrzna fermentatora  $56 \text{ m}^2$ .

Obliczenia strumieni cieplnych

koniecznych do realizacji procesu  
strumień ciepła do podgrzewania wsadu  $1,3 \cdot 10^8 \text{ J/d}$ ; (1,5 kW),  
straty ciepłe fermentatora  
 $k = 9,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$   
razem  $0,5 \cdot 10^8 \text{ J/d}$ ; (0,5 kW),  
 $1,8 \cdot 10^8 \text{ J/d}$ ; (2 kW).

Produkcja gazu

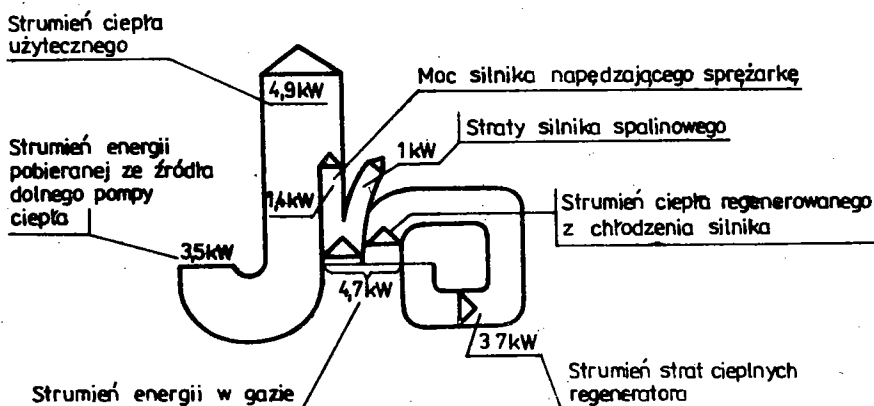
gaz produkowany  $20,5 \text{ m}^3/\text{d}$ ,  
energia gazu produkowanego  $4,2 \cdot 10^8 \text{ J/d}$ ; (4,7 kW).

Gdyby pokrywać straty ciepłe fermentatora i podgrzewać

wsad przez spalanie gazu (sprawność 0,8) to:  
energia użyteczna gazu wynosiłaby  $2,2 \cdot 10^8 \text{ J/d}$ ; (2,5 kW).

Gdyby zastosować pompę ciepła z silnikiem spalinowym napędzonym gazem i skojarzyć gospodarke cieplną układu: fermentator, silnik spalinowy, pompa ciepła, to:

energia użyteczna osiągnęłaby wartość  $4,4 \cdot 10^8 \text{ J/d}$ ; (4,9 kW).



Wykres pasmowy bilansu energetycznego do przykładu 3

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Chung P o i inni: *Managing Livestock Wastes*. 1972, s. 238.
  - [2] D o h n e E.: *Die Landtechnische Zeitschrift*. 9, 1981, s. 1169.
  - [3] *Energy from Biomass und Wastes. Symposium Papers*. Washington, 1978.
  - [4] G ö b e l W.: *Die Landtechnische Zeitschrift*, 9, 1981, s. 1164.
  - [5] F r y L.J, i inni: *Praktyczne zasady budowy wytwórni metanu w celu zapewnienia możliwości pokrycia potrzeb energetycznych terenów wiejskich (tłumaczenie z angielskiego IBMER)*.
  - [6] IBMER. *Opracowanie dla RWPG*, 1980.
  - [7] L a p p H.M., i inni: *Managing Livestock Wastes*. 1972.
  - [8] M i n e r J.R.: *Livestock Waste Managment with Pollution Control*. North Central Regional Research Publication 222.
  - [9] S c h l e g e l H.G., B a r n e a J.: *Microbiological Energy Conversion*, Pergamon Press, 1977.
  - [10] S t e f a ń s k a L.: *Praca doktorska PW*, 1978.
- Steppa M.: informacje ustne.

## БИОГАЗ, ЕГО ХОЗЯЙСТВЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО

### К р а т к о е   с о д е р ж а н и е

В работе дается обзор современного состояния техники в области производства биогаза в ПНР и в других странах. В этой цели оговариваются основные процессы ферментации, сопровождающиеся образованием биогаза, а также описываются примерные решения используемых производственных установок. Особое внимание обращается на энергетические свойства биогаза. Его производство обеспечило бы возможность использования в более крупном масштабе биомассы, непригодной для других целей, но все время обновляющейся, а как известно, энергетические прогнозы предсказывают, что будущее принадлежит обновляющимся источникам энергии.

Общие выводы иллюстрируются тремя примерами, в которых приводятся упрощенные вычисления для установок, отличающихся разными производительностями.

## BIOGAS - ECONOMICAL SIGNIFICANCE AND GENERATION THEREOF

### S u m m a r y

The paper presents a review of worldwide and domestic knowledge in the field of biogas generation techniques. To this there are discussed the basic fermentation processes being responsible for biogas generation and actually used typical systems therefor presented.

Particular attention has been paid to energetic aspects of the biogas. The generalization of biogas production would render possible large scale utilization of the biomass which is useless for other purposes but still renewable as a source of energy. And, as it is commonly known, long term forecasts are lying great store upon renewable sources of energy.

Results of general analysis have been illustrated by three typical examples in which simplified calculations for biogas generation systems of different output capacities are presented.