

Magdalena Graczyk

## BIOKONWERSJA ZWIĄZKÓW ORGANICZNYCH ŹRÓDŁEM ODZYSKU I STABILIZACJI ŚCIEKÓW

### BIOKONWERSJA ZWIĄZKÓW ORGANICZNYCH ŹRÓDŁEM ODZYSKU ENERGII I STABILIZACJI ŚCIEKÓW

#### Streszczenie

Intensyfikacja procesów stabilizacji stężonych ścieków organicznych powinna zapewnić otrzymanie substratów stabilnych w pojęciu konwencjonalnych kryteriów stabilności, a także spełniać warunek dezaktywacji sanitarnej, co jest szczególnie istotne przy ich rolniczym wykorzystaniu, jako formie ostatecznego unieszkodliwienia. Decydującym czynnikiem jest także odzysk energii ze ścieków poprzez biokonwersję substancji organicznych w nich zawartych. Analiza energetyczna stabilizacji dwustopniowej wykazała, że proces może zachodzić przy spełnieniu autarkii energetycznej, a ponadto jest możliwe minimalizowanie nakładów energii na eksploatację fermy.

#### Zusammenfassung

Intensivierung des Stabilisierungsprozesses von konzentrierten organischen Abwässer soll stabile d.h. die den konventionellen Stabilisationskriterien entsprechende Produkte geben die auch hygienisch einwandfrei sind. Diese Bedingung ist vor allem dann wichtig, wenn es sich um landwirtschaftliche Ausnutzung des Abwassers handelt, die als endgültige Unschädlichmachung gilt. Entscheidend ist auch die Rückgewinnung der in der organischen Substanz vorhandenen Energie. Genaue Analyse einer dualen Stabilisierung ergab die Möglichkeit einer energetischen Autarkie und einer Minimierung des Energieaufwandes in einer Massentierhaltung zu erzielen.

W technologii wysokostężonych ścieków organicznych, podobnie jak w technologii osadów ściekowych zasadniczym celem ich przeróbki jest osiągnięcie stabilizacji.

W konwencjonalnym pojęciu stabilizacja oznacza, że składniki organiczne zawarte w ściekach nie rozkładają się dalej w sposób niekontrolowany i uciążliwy dla otoczenia. Jest to szczególnie istotne, jeżeli przyjmiemy się za najszluszniejszą metodę ich ostatecznego unieszkodliwienia wykorzystanie rolnicze, czy to jako nawozu zawierającego związki biogenne jak: N, P, K, czy też jako środka wzbogacającego glebę w nawóz organiczny-humus powstały w wyniku biostabilizacji. Użytkowanie rolnicze stężonych ścieków organicznych powinno być korzystne dla rolnictwa

Doc. dr hab. inż. Magdalena Graczyk — Wyższa Szkoła Inżynierska w Zielonej Górze

i nieszkodliwe dla gleby i środowiska. Ten warunek może być spełniony tylko przy pełnej ich stabilizacji, a także zgodnie z wymaganiami nowoczesnej higieny przy pełnej dezaktywacji sanitarnej. Spośród zestawionych w tab. 1 przykładów wysokostężonych ścieków do wykorzystania rolniczego bezwzględnie powinna być przeznaczona gnojowica, gdyż ilości składników nawozowych w niej zawartych, a także dotychczasowe badania i praktyka, potwierdziły w całej rozciągłości, że rolnicze wykorzystanie gnojowicy jest słuszne ekonomicznie i jednocześnie stanowi zamknięcie naturalnego obiegu materii w przyrodzie: gleba otrzymuje na powrót część pobranych przez rośliny substancji mineralnych, a zarazem wzbogaca się w cenną nawozowo substancję organiczną (tab. 2) [1, 2, 3].

W rolniczym wykorzystaniu gnojowicy surowej istnieje jednak niebezpieczeństwo przekroczenia naturalnych możliwości przetwórczych gle-

Tabela 1

PRZYKŁADY WYSOKOSTĘŻONYCH ŚCIEKÓW ORGANICZNYCH

Lp.	Rodzaj ścieków	ChZT mgO <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	BZT <sub>5</sub> mgO <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>
1.	Ścieki z przemysłowej hodowli trzody (gnojowica)	40 000	18 000
2.	Ścieki celulozowe (ługi powarzelne)	25 000—50 000	9000—18 000
3.	Ścieki cukrownicze	20 000	15 000
4.	Ścieki z produkcji brzożki drożdżowej	10 000	6 000

Tabela 2

WARTOŚCI NAWOZOWE WYDALONE PRZEZ ZWIERZĘTA

Lp.	Wartość nawozowa wydalona (g/d — zwierzę)	N	P	K
1.	a) wg Harta i Turnera	14,4	4,9	5,0
	b) wg Schmidta i Weigla	13,2	7,4	3,6
	c) wg Loehra	19,1—	13,1—	6,2—
2.	a) j. w.	—17,2	23,0	140,0
	b) —	175,0	—	—
	c) j.w.	158,9	49,9	122,5

Rozbieżności w ilościach NPK podawanych przez różnych autorów spowodowane są między innymi sposobem żywienia zwierząt, różnicą w ciężarze itp.

by i uprawianych roślin. Przy aktualnie zalecanych dawkach gnojowicy „pełnej” wynoszących 50—100 m<sup>3</sup>/ha, około 25—30% zawartego w niej azotu może się znaleźć poza zasięgiem korzeni roślin.

Ta część straconego azotu stanowi zagrożenie dla czystości wód [4]. Zagrożona może być również jakość płodów rolnych. Jak podają Specht, Asmus i Lange [5] już przy dawkach powyżej 200 kg N/ha występują niekorzystne zmiany w składzie chemicznym roślin. Ilustruje to tab. 3.

Tabela 3

## DOPUSZCZALNE DAWKI AZOTU DLA RÓŻNYCH ROŚLIN

Lp.	Rośliny	kg/ N/ha	gnojowicy gęstej t/-ha		Możliwe zmniejszenie jakości płodów rolnych
			bydłowej	świńskiej	
1.	ziemniaki	500	125	75	spadek zawartości skrobi (240 kg N/ha)
2.	buraki cukrowe	500	125	75	spadek zawartości cukru (240 kg N/ha)
3.	buraki pastewne	600	150	90	wzrost zawartości NO <sub>3</sub> (200 kg N/ha)
4.	kukurydza na kiszonki	600	150	90	opóźnienie dojrzewa- nia, wzrost zawartoś- ci NO <sub>3</sub> (400 kg N/ha) ważne przy spasaniu świeżej kukurydzy
5.	kapusta pastewna	600	150	90	wzbogacenie w NO <sub>3</sub> (400 kg N/ha) ważne przy spasaniu świeżej kapusty

Wspomnieć tu również należy o niebezpieczeństwie przenoszenia chorób zakaźnych zwierząt np. czerwonki i helmintoz przy użytkowaniu gnojowicy surowej. Ponadto jest ona bez wątpienia substratem szczególnie łatwo ulegającym biodegradacji czego dowodem jest jej wysokie biochemiczne zapotrzebowanie tlenu. Z tego powodu należy zwrócić uwagę na stosunki tlenowe powstające w glebie wskutek nawożenia gnojowicą, gdyż przekroczenie dawek spowodować może zachwianie równowagi między dyfuzją tlenu z atmosfery do gleby, a zużyciem tlenu przez mikroorganizmy glebowe na mineralizację i stabilizację substancji organicznych gno-



jowicy. Gnojowica surowa posiada właściwości tiksotropowe i powoduje „zaklejanie” gleby co znacznie utrudnia lub wręcz uniemożliwia transpirację tlenu do gleby. Problemem równowagi tlenowej w glebie szczegółowo zajmował się Kowalik [5]. Przywrócenie równowagi tlenowej w glebie jest procesem długotrwałym, a osiągnięcie pełnej reaeracji jest trudniejsze niż w wodach powierzchniowych, gdyż wskutek kapilarności porów gleby przenikanie tlenu odbywa się tylko na drodze dyfuzji, która przebiega stosunkowo wolno. Niebezpieczeństwo odtleniania gleby przestaje istnieć gdy do nawożenia zastosujemy gnojowicę uprzednio ustabilizowaną. Procesy stabilizacji stężonych ścieków organicznych i osadów ściekowych mogą być prowadzone biochemicznie na drodze fermentacji metanowej bądź tlenowo.

W ostatnim okresie wiele uwagi poświęca się fermentacji metanowej. Proces stabilizacji na drodze beztlenowej stał się atrakcyjny z uwagi na wzrost zainteresowania odzyskiem energii poprzez biokonwersję substancji organicznej zawartej w stężonych ściekach i osadach.

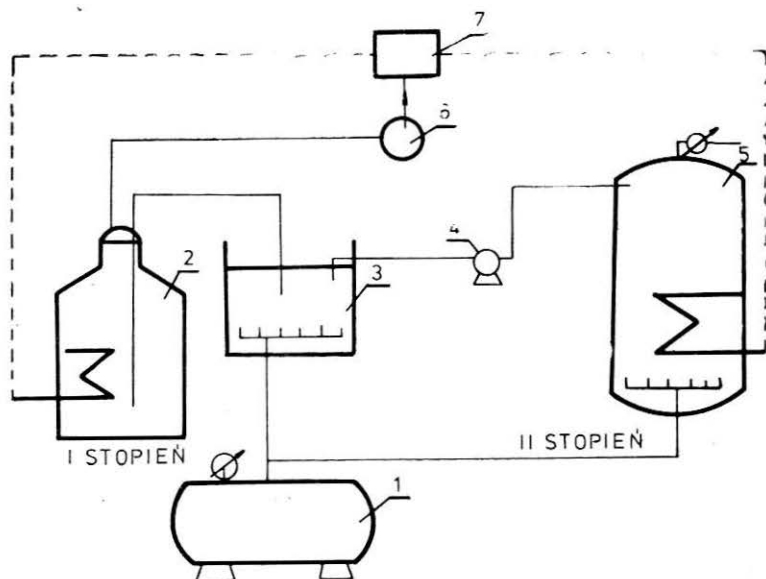
Przeprowadzone w Polsce w ostatnim dziesięcioleciu badania laboratoryjne i w skali półtechnicznej wykazały, że w wyniku fermentacji metanowej z 1 tony obornika można uzyskać 30—35 Nm<sup>3</sup> gazu/a z 1 tony odchodów świńskich 50—80 Nm<sup>3</sup> gazu/a [6, 7].

Szpecially opłacalne staje się wytwarzanie biogazu w dużych fermach przemysłowych, które dają duże ilości gnojowicy. Turowski [7] sporządził przykładowy bilans energii dla fermy o rocznej produkcji 36.500 tuczniaków, z którego wynika, że w procesie fermentacji metanowej odzyskuje się około 68% energii potrzebnej dla rocznej eksploatacji fermy.

Rozważając problem stabilizacji metanowej należy jednak pamiętać, że procesy beztlenowe przebiegają stosunkowo wolno: w temperaturze 10—15°C całkowita fermentacja trwa 90—60 dób, a w temperaturze 20—30°C — 30dób. Temperatura 55—60°C skraca proces do 15 dób. Dopiero po tych okresach czasu uzyskuje się produkt w pełni stabilny i nadający się do nawożenia gleby. Stabilizowanie gnojowicy tylko na drodze fermentacji metanowej pozwala co prawda w wyniku biokonwersji związków organicznych uzyskać maksymalną ilość biogazu, ale ścieki przed rozdeszczeniem na polach lub łąkach powinny być zgodnie z wymaganiami nowoczesnej higieny dezynfekowane przez podgrzanie do 60°C w czasie 30 minut, aby uniknąć przenoszenia chorób zakaźnych [8]. Ponadto długi czas fermentacji wpływa na koszt urządzeń — znaczna objętość komór fermentacyjnych szczególnie w dużych fermach.

Stabilizacja tlenowa w warunkach termofilowych daje produkt stabilny w znacznie krótszym czasie 2—4 d., bezpieczny sanitarnie, ale wymaga szczególnie przy znacznym rozcieńczeniu gnojowicy doprowadzenia energii z zewnętrznego źródła.

Uwzględniając z jednej strony aspekt energetyczny, a z drugiej strony intensyfikację procesów stabilizacyjnych, przy zachowaniu konwencjonalnych wskaźników stabilności i dezaktywacji sanitarnej, należałoby przyjąć układ stabilizacji dwustopniowej anaerobowo-aerobowej. Badania przeprowadzone w układzie modelowym potwierdziły słuszność tego założenia [9]. Stabilizację gnojowicy prowadzono wg schematu przedstawionego na rys. 1. Fermentacja metanowa trwała 5 dób, a następnie



Rys. 1. Schemat aparatury do dwustopniowej stabilizacji stężonych ścieków

1 — sprężarka, 2 — komora fermentacyjna, 3 — zbiornik pośredni (napowietrzający), 4 — pompa, 5 — biodegradator tlenowy, 6 — miernik gazu, 7 — zbiornik gazu

proces stabilizacji kontynuowano w warunkach tlenowych przez okres 1—2 dób. Cały układ prowadzono w warunkach termofilowych, przy czym w stopniu tlenowym stosowano niewielkie nadciśnienie rzędu 0,2 MPa, co znacznie poprawiło wykorzystanie tlenu wprowadzonego do gnojowicy.

Bilans energetyczny stabilizacji dwustopniowej zamknął się dodatnim saldem energii przy całkowitym pokryciu potrzeb energetycznych układu.

Na podkreślenie zasługuje też krótki okres (7 dób) w którym otrzymano produkt całkowicie stabilny. Przy ograniczeniu procesu tylko do fermentacji metanowej substrat stabilny uzyskano dopiero po 15 dobach. Trzecią zaletą procesu dwustopniowego, obok skrócenia czasu, a tym sa-



mym zmniejszenia objętości urządzeń i zachowania dla całego układu stabilizacji autarkii energetycznej jest dezaktywacja sanitarna substratu, co jest szczególnie istotne gdy substratem jest gnojowica lub osady ściekowe, których ostateczną formą unieszkodliwienia jest wykorzystanie rolnicze.

Wyniki badań nad przeżywalnością jaj helmintów w warunkach termofilowych opublikowano już wcześniej [10].

Badania parazytologiczne wykazały, że jaja wszystkich gatunków pasożytów jelitowych świń poddane temperaturze 55°C przez okres 3 do 30 minut uległy po 3 dobach inkubacji zahamowaniu w rozwoju i utraciły swoją wirulentność. W temperaturach wyższych tj. 60—70°C całkowita utrata żywotności jaj następowała już w pierwszej dobie inkubacji. Termofilowa stabilizacja powoduje 100% dezaktywację sanitarną gnojowicy. Jaja pasożytów jelitowych uległy całkowitemu zdeformowaniu i nie wykazywały podczas inkubacji żadnych oznak rozwoju.

Nie bez znaczenia jest również fakt dezodoryzacji gnojowicy, który jest także efektem procesu stabilizacji. Przykry, fekalny zapach, szczególnie odrażający przy gnojowicy świńskiej, ustępuje miejsca zapachowi ziemnotorfiastemu charakterystycznemu dla związków humusowych. To zniwelowanie zapachu stanowi także jeden ze składników higieniczno-sanitarnych tak istotnych przy rolniczym wykorzystaniu gnojowicy. Nadmiar energii pozostały po pokryciu procesów stabilizacji postanowiono zagospodarować na fermie. W tym celu przeprowadzono analizę energetyczną jednej z ferm trzody chlewnej w województwie zielonogórskim. Wybrane podstawowe dane produkcyjne fermy dla roku gospodarczego 1981/82 zestawiono w tab. 4.

Tabela 4

**DANE EKSPLOATACYJNE FERMY NA 5500 SZTUK  
TRZODY CHLEWNEJ W SKALI ROCZNEJ**

1. Produkcja żywca	—	577 t
2. Zużycie paszy	—	16.939 t
3. Ilość gnojowicy	—	24.692 m <sup>3</sup>
4. Zużycie ciepła	—	2,1 GWh
5. Zużycie energii elektrycznej	—	387 MWh
w tym		
pozaszczytowej	—	157 MWh

W tab. 5 zestawiono dane wyjściowe do bilansu fermy w skali dobowej, a w tab. 6 energię zużywaną podczas dobowej eksploatacji fermy.

Tabela 5

## DANE WYJŚCIOWE DO BILANSU ENERGETYCZNEGO FERMY

1. Ilość gnojowicy m <sup>3</sup> /d	—	67,6
2. Zawartość suchej substancji %	—	5
3. Zawartość suchej substancji organicznej %	—	4
4. Czas procesu doby		
stopień beztlenowy	—	5
stopień tlenowy	—	2
5. Temperatura °C		
dopływ latem 15°, zimą 10°, $\Phi$ 12,5°		
stop. beztlenowy 55°		
stopień tlenowy 55°		
6. Zawartość substancji organicznej w dopływie kg/d 2704		
7. Ubytek substancji organicznej kg/d/%	—	1568/58
stopień beztlenowy	—	946,4/35
stopień tlenowy	—	622/23
8. Produkcja gazu m <sup>3</sup> /d		1217
9. Udział objętościowy metanu m <sup>3</sup> /d/%	—	852/70
10. Wartość opałowa metanu MWh/d	—	8,3
11. Zapotrzebowanie ciepła MWh/d	—	1,7
stopień beztlenowy	—	3,4
odzysk poprzez wymienniki	—	1,7
12. Objętość urządzeń m <sup>3</sup>		
stopień beztlenowy	—	350
stopień tlenowy	—	150

Tabela 6

DOBOWE ZAPOTRZEBOWANIE ENERGII  
NA EKSPLOATACJĘ FERMY

1. Zapotrzebowanie energii elektrycznej na mieszanie, stopień beztlenowy (6,5 W/m <sup>3</sup> )	—	54,6 kWh/d
2. Zapotrzebowanie energii elektrycznej na wtłaczanie sprężonego powietrza i jednocześnie mieszanie stopnia tlenowego*)	—	650 kWh/d
3. Zapotrzebowanie energii elektrycznej na fermie poza procesami stabilizacji gnojowicy	—	1046 kWh/d
4. Łączne zapotrzebowanie energii elektrycznej	—	1751 kWh/d
5. Zapotrzebowanie ciepła na proces stabilizacji gnojowicy	—	1,7 MWh/d
6. Zapotrzebowanie ciepła na fermie poza stabilizacją	—	5,7 MWh/d
7. Łączne zapotrzebowanie ciepła	—	7,4 MWh/d

\*) 1 kg sso wymaga 1,5 kg O<sub>2</sub>, przy 20% wykorzystaniu tlenu, należy wtłoczyć 21.025 m<sup>3</sup> powietrza/d.

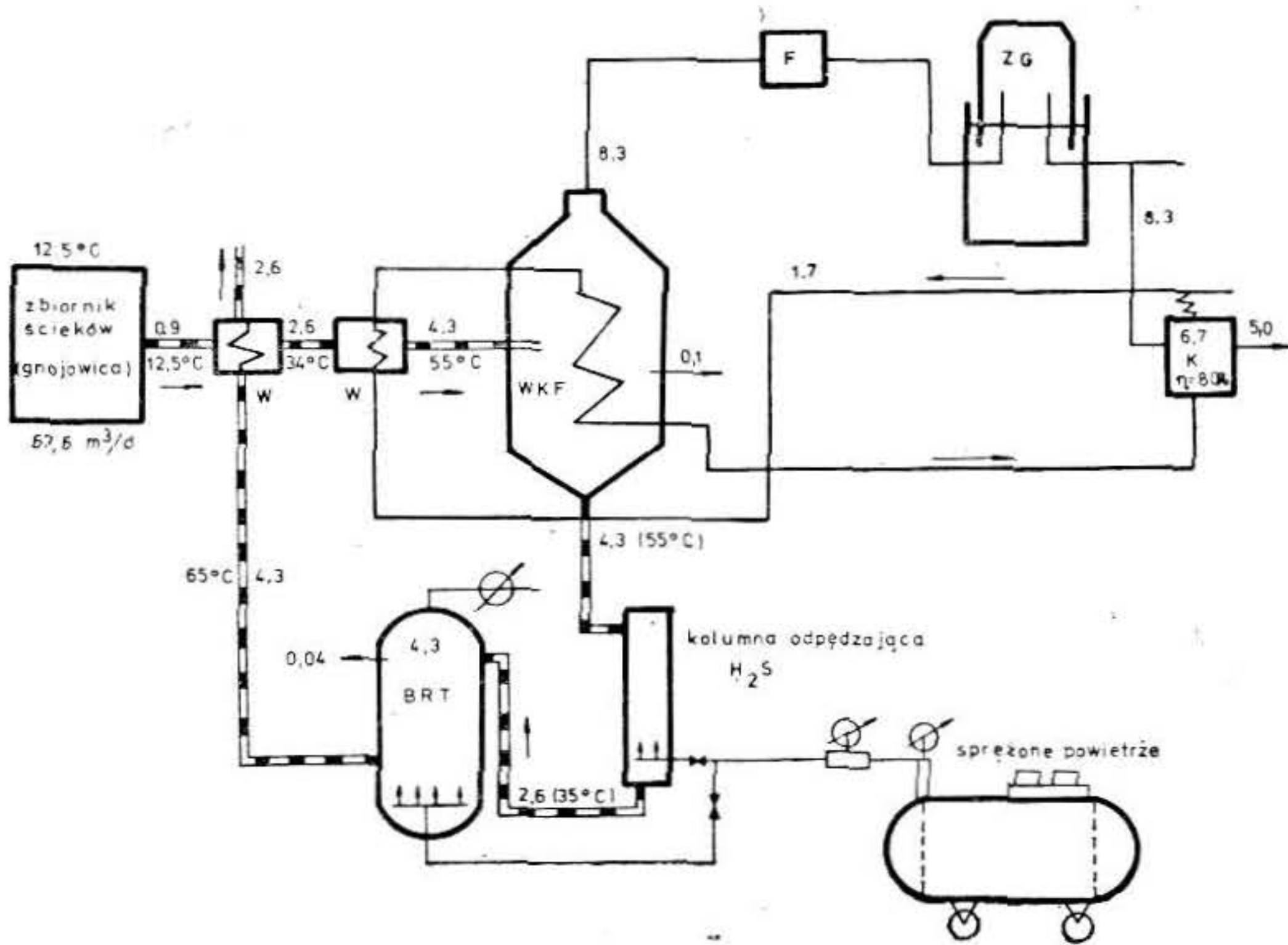
Tabela 7

BILANS ENERGETYCZNY DLA FERMY 5500 SZTUK TRZODY CHLEWNEJ  
PRZY DWUSTOPNIOWEJ STABILIZACJI GNOJOWICY

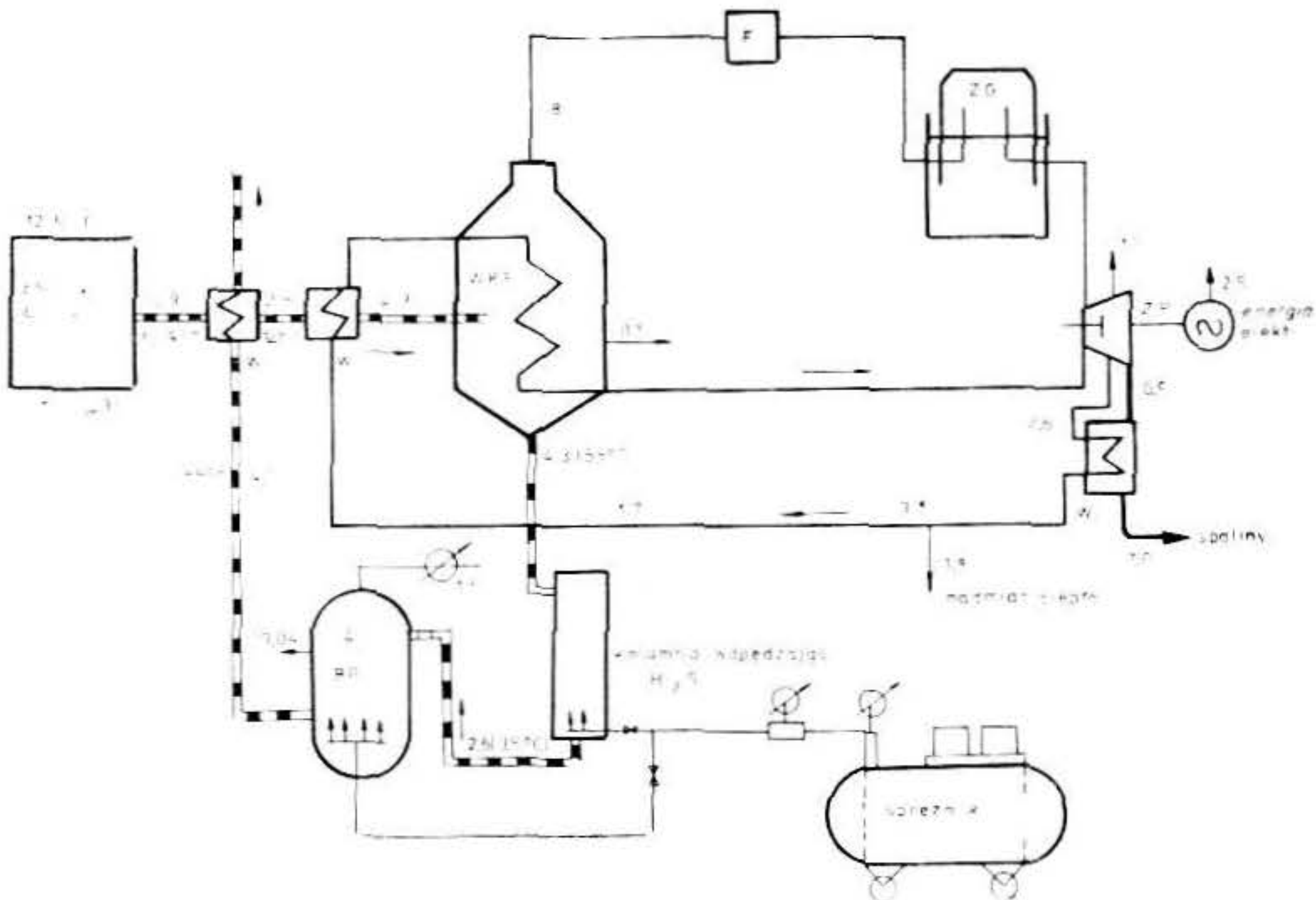
		Jednostki	z zamianą gazu na ciepło	z zamianą gazu na prąd elek- tryczny	z zamianą gazu na ciepło i prąd
1.	Gaz (produkcja)	MWh/d	8,3	8,3	8,3
2.	Gaz przetwarzany na prąd elektryczny	MWh/d	—	8,3	6,0
3.	Wytwarzany prąd elektryczny ( $\eta$ ge- neratora = 30%)	MWh/d	—	2,5	1,8
4.	Użyteczne ciepło z silnika gazowego ( $\eta = 42\%$ )	MWh/d	—	3,5	2,5
5.	Gaz przetwarzany na ciepło	MWh/d	8,3	—	2,3
6.	Ciepło do dyspozy- cji (netto)	MWh/d	6,7	3,5	3,8
7.	Energia elektryczna do dyspozycji	MWh/d	—	2,5	1,8
8.	Zapotrzebowanie ciepła na proces stabilizacji (ogrze- wanie stopnia bez- tlenowego i pokry- cie strat)	MWh/d	1,7	1,7	1,7
9.	Zapotrzebowanie ciepła na potrzeby fermy	MWh/d	5,7	5,7	5,7
10.	Zapotrzebowanie ciepła łączne	MWh/d	7,4	7,4	7,4
11.	Bilans ciepła	MWh/d	-0,7	-3,9	-3,6
12.	Zapotrzebowanie energii elektrycznej na fermie na pro- ces stabilizacji	KWh/d	704,6	704,6	704,6
13.	Zapotrzeb. energii elektr. na fermie poza procesem sta- bilizacji	KWh/d	1046	1046	1046
14.	Łącznie zapotrzeb. energii	KWh/d	1751	1751	1751
15.	Bilans energii elektr.	KWh/d	-1751	+801	+49



Przeanalizowano 3 warianty przetworzenia wyprodukowanego gazu:  
— przetworzenie na ciepło



Rys. 2. Rozdział strumienia energii w procesie dwustopniowej stabilizacji gnojowicy z całkowitą zamianą gazu na ciepło  
BRT — bioreaktor tlenowy, F — filtr do gazu, K — kocioł opalany gazem, WKF — komora fermentacyjna, W — wymiennik ciepła (wszystkie wartości liczbowe strumienia przepływającej energii w MWh/d)

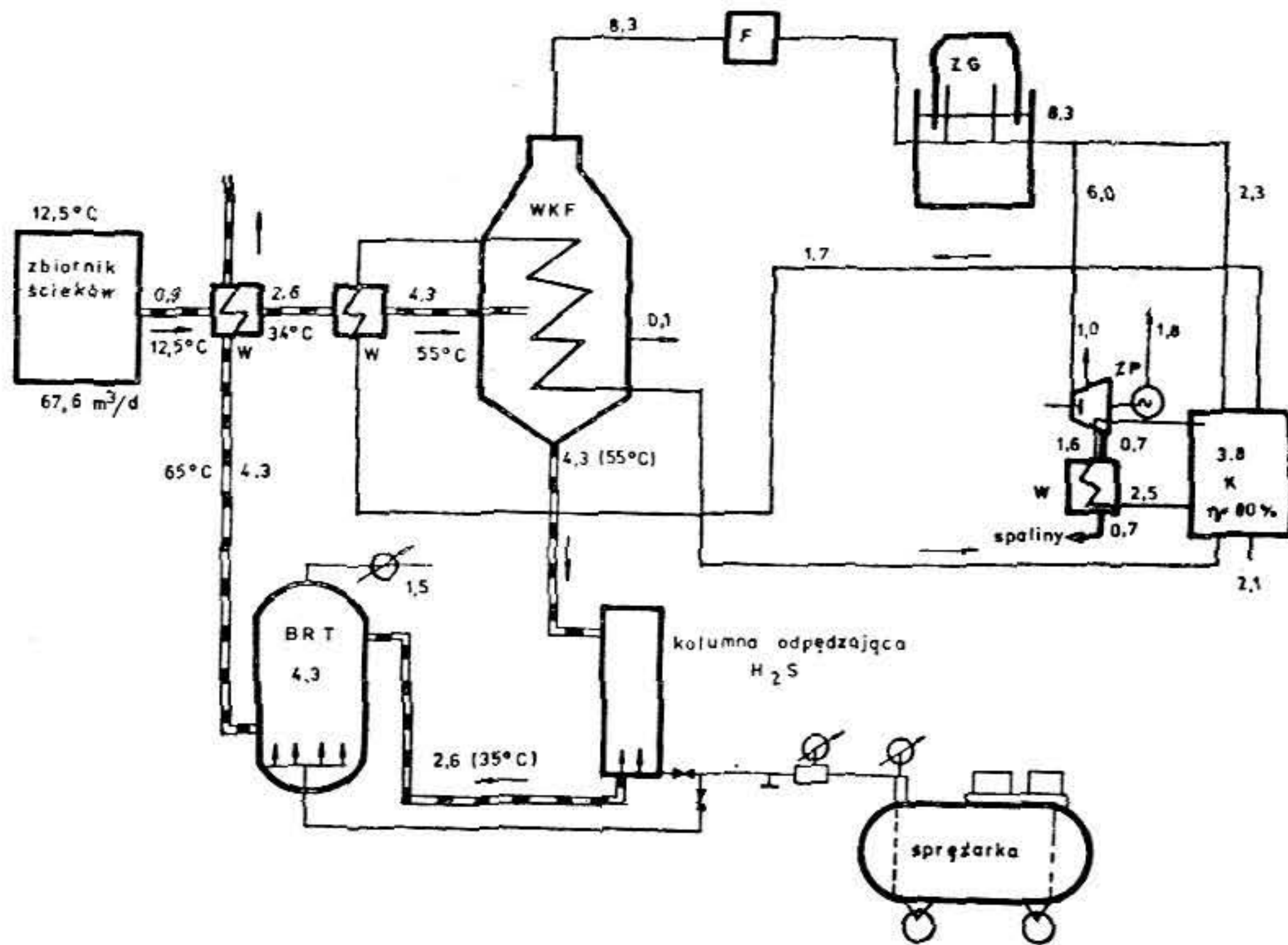


Rys. 3. Rozdział strumienia energii w procesie dwustopniowej stabilizacji gnojowicy z całkowitym przetworzeniem gazu na prąd elektryczny

- przetworzenie poprzez silnik gazowy i generator na prąd elektryczny
- przetworzenie na ciepło i prąd elektryczny

Bilans energetyczny uwzględniający powyższe sposoby przetwarzania gazu zawiera tab. 7.

Rozdział strumienia przepływającej energii przedstawiają rys. 2, 3, 4.

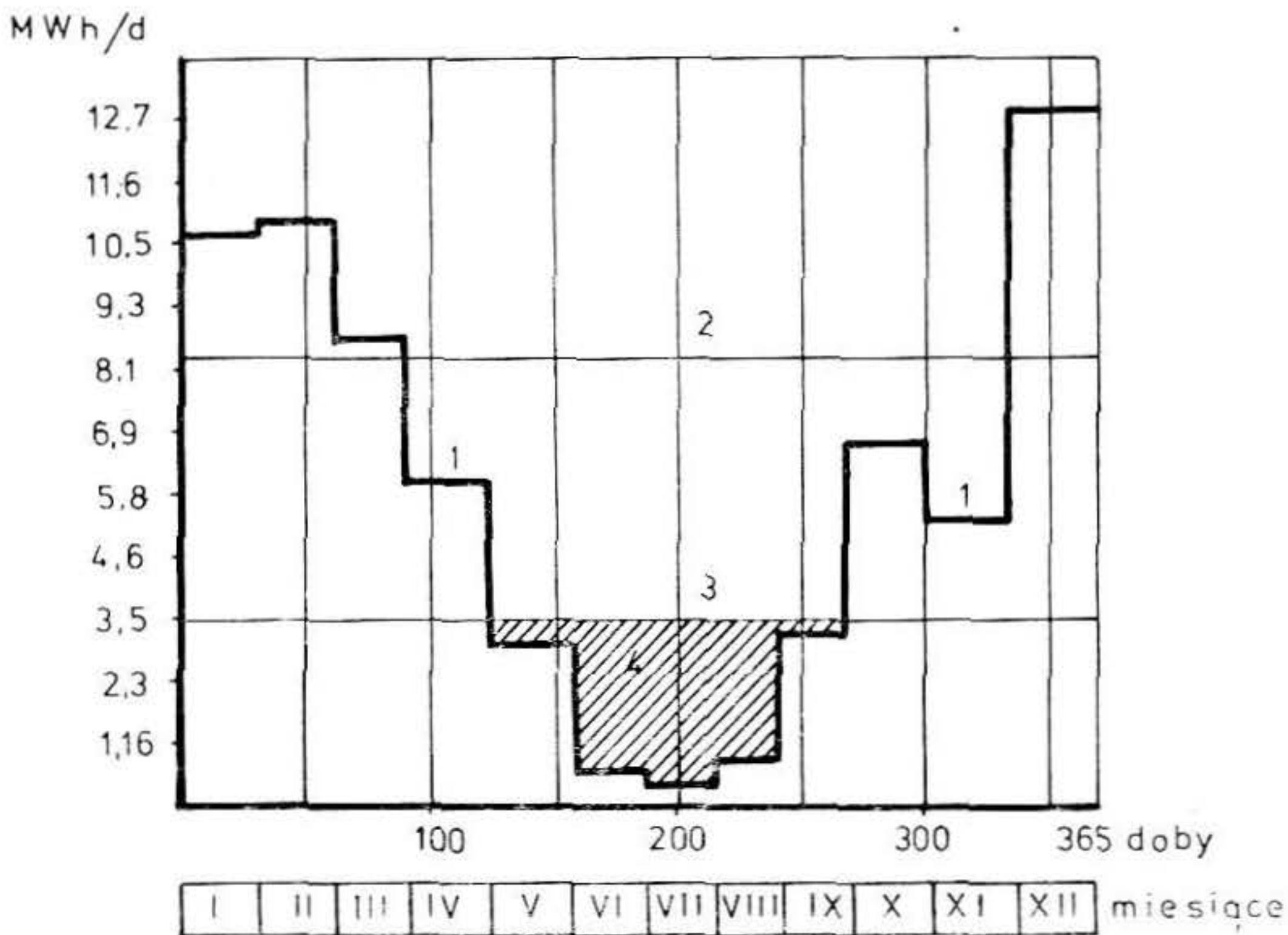


Rys. 4. Rozdział strumienia energii w procesie dwustopniowej stabilizacji gnojowicy z częściowym przetworzeniem na prąd elektryczny i częściową zamianę na ciepło

Przy całkowitej zamianie wyprodukowanego gazu na ciepło, po pokryciu zapotrzebowania energetycznego obu stopni w zakresie energii ceplonej pozostaje jej nadmiar, który może być zagospodarowany w fermie. Pokrywa on 91% rocznego zapotrzebowania fermi. W okresie letnich miesięcy istnieje nadwyżka ciepła, którą można wykorzystać np. do suszenia pasz (rys. 5), aby uniknąć niepotrzebnych strat w postaci „pochodni” gazu.

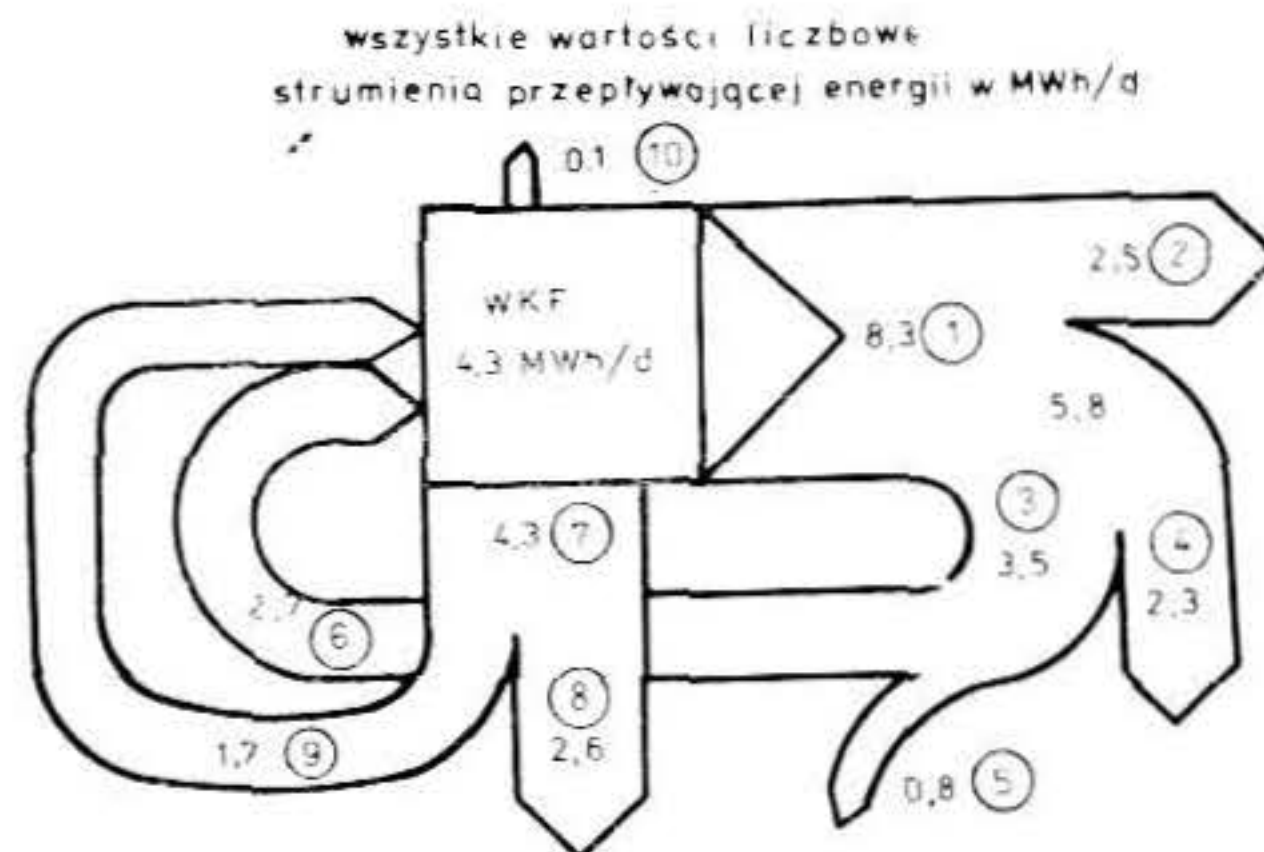
Przy całkowitej zamianie wyprodukowanego gazu na prąd elektryczny można pokryć nie tylko zapotrzebowanie na energię elektryczną dla fermi, ale pozostaje jeszcze nadwyżka energii, która może być oddana do krajowej sieci energetycznej w ilości 800 kWh/d. Nadwyżka w stosunku do potrzeb fermi wynosi 46%. Jednocześnie wykorzystując poprzez wymienniki ciepła, ciepło użyteczne spalin i ciepło wody z chłodzenia silników w zespole prądotwórczym pokrywa się zapotrzebowanie ciepła na fermie w 47%.





Rys. 5. Roczne zużycie energii cieplnej na fermie rozłożone na poszczególne miesiące  
 1 — zużycie oleju opałowego do celów ogrzewczych, 2 — produkcja biogazu (brutto), 3 — ciepło wytworzone (netto), 4 — nadwyżka ciepła do zagospodarowania w suszarni

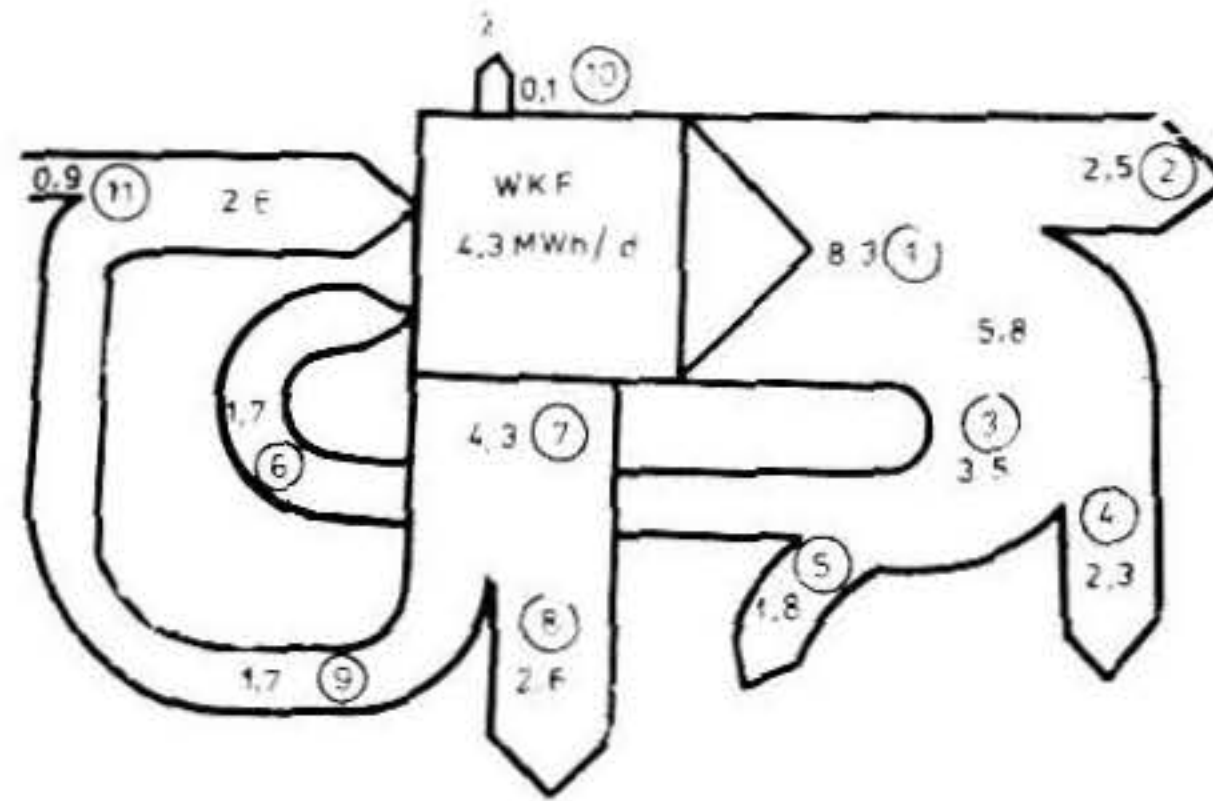
Gdyby przyjąć, że ścieki posiadają temperaturę 0°C, przepływ energii z całkowitą zamianą gazu na prąd elektryczny można przedstawić przy pomocy wykresu Sankeya zgodnie z rys. 6. Ponieważ ścieki posia-



Rys. 6. Wykres Sankeya dla całkowitej przemiany gazu na prąd elektryczny przy temperaturze ścieków 0°C  
 1 — energia zawarta w gazie fermentacyjnym, 2 — energia elektryczna, 3 — energia cieplna odzyskiwana ze spalin i wód chłodzących silnika gazowego, 4 — energia tracona w silniku gazowym, 5 — nadmiar energii cieplnej do zagospodarowania na fermie, 6 — energia cieplna wykorzystywana do ogrzania ścieków surowych, 7 — energia zawarta w przefermentowanych ściekach, 8 — energia tracona w przefermentowanych ściekach, 9 — energia odzyskiwana z przefermentowanych ścieków w wymiennikach ciepła, 10 — energia tracona przez przenikanie w komorze fermentacyjnej



dają przeciętnie temperaturę  $12,5^{\circ}\text{C}$  ogólne zapotrzebowanie energii na pokrycie strat komory i ogrzanie ścieków obniży się z  $4,4 \text{ MWh/d}$ , a tym samym zwiększy się nadwyżka ciepła, którą można zagospodarować w fermie poza procesem stabilizacji gnojowicy (rys. 7).



Rys. 7. Wykres Sankeya dla całkowitej przemiany gazu na prąd elektryczny przy temperaturze ścieków  $12,5^{\circ}\text{C}$

1 — energia zawarta w gazie fermentacyjnym, 2 — energia elektryczna, 3 — energia cieplna odzyskiwana ze spalin i wód chłodzących silnika gazowego, 4 — energia tracona w silniku gazowym, 5 — nadmiar energii cieplnej do zagospodarowania na fermie, 6 — energia cieplna wykorzystywana do ogrzania ścieków surowych, 7 — energia zawarta w przefermentowanych ściekach, 8 — energia tracona w przefermentowanych ściekach, 9 — energia odzyskiwana z przefermentowanych ścieków w wymiennikach ciepła, 10 — energia tracona przez przenikanie w komorze fermentacyjnej, 11 — energia zawarta w dopływających ściekach (temp. ścieków  $12,5^{\circ}\text{C}$ )

W obu przypadkach zakłada się 40% odzysk ciepła ze ścieków ustabilizowanych. Zaznaczyć tutaj należy, że ewentualne obniżenie temperatury ścieków między stopniem beztlenowym i tlenowym nie ma wpływu na ogólny bilans energetyczny, gdyż ciepło wywiązane w wyniku biooksydacji substancji organicznych w reaktorze tlenowym pokrywa tę stratę, jak i stratę związaną z parowaniem wody unoszonej z przepływającym powietrzem z układu. (Ciepło powstałe z termogenezy przy utlenieniu  $622 \text{ kg sso}$ , przyjmując za Döngesem [11], że  $1 \text{ kg sso}$  odpowiada  $25,6 \text{ MJ}$ , daje  $4,3 \text{ MWh/d}$ ).

Wariant przedstawiony na rys. 5 przewiduje częściowe przetworzenie gazu na prąd elektryczny i częściowe przetworzenie na ciepło, przy czym zapotrzebowanie fermy na energię elektryczną zostaje pokryte w 100%, a na ciepło w 52%.

Ten wariant przedstawia się więc najkorzystniej.

Na podstawie rozważań przedstawionych powyżej stwierdzić należy, że:

1. Intensyfikacja procesów stabilizacji (stabilizacja dwustopniowa ana-



- erobowo-aerobowa) gwarantuje w możliwie najkrótszym czasie optymalny odzysk energii ze ścieków bądź osadów z zachowaniem autarkii energetycznej procesów stabilizacyjnych.
2. Stabilizowane dwustopniowo substraty spełniają konwencjonalne kryteria stabilności i cechuje je pełna dezaktywacja sanitarna, co stanowi podstawę ich rolniczego wykorzystania.
  3. Ostateczne saldo bilansu energetycznego uzależnione jest od sposobu przetwarzania wyprodukowanego w wyniku biokonwersji związków organicznych gazu fermentacyjnego.

## LITERATURA

- [1] Loehr R. C., Agnew R. W. — *Cattle Wastes-Pollution and Potential Treatment*. Journal Sanit. Engin. Div Vol. 93 (1967).
- [2] Hart S. A., Turner M. E. — *Laagons for Livestock Manure*. Journal WPCF. Vol. 37 (1965).
- [3] Schmidt G., Weigelt H. — *Wasser und Boden* 5/1972.
- [4] Kutera J. — *Eliminacja związków biogenych ze ścieków przez ich rolnicze wykorzystanie* — Materiały z konferencji na temat: Nawożenie, a eutrofizacja wód — Zielona Góra 1976.
- [5] Kowalik P., Obarska-Pempkowiak H. — *Badania modelowe nad utylizacją zanieczyszczeń ściekowych w profilu glebowym*. — Materiały z seminarium naukowego pt. *Oczyszczenie i utylizacja ścieków w środowisku glebowym i wodnym jako jeden z głównych kierunków konferencji helsińskiej* — Szczecin 1977.
- [6] Turowski S. — *Nowe rozwiązania wytwórni biogazu źródłem taniej energii i ulepszanego nawozu dla rolnictwa*. Biblioteka Postępu Rolniczego WRN w Gdańsku. Gdańsk 1966.
- [7] Turowski S. — *Możliwości wytwarzania biogazu z gnojowicy*. Materiały z konferencji na temat: *Mechanizacja prac związanych z usuwaniem ścieków inwentarskich z wielkotowarowych ferm hodowlanych*. Gdańsk 1979.
- [8] Furrer O. J., Candinas T. — *Probleme der Schlammverwertung*. Wiener Mitteilungen. Wasser, Abwasser, Gewässer. Band 47 — Wien 1982.
- [9] Graczyk M. — *Energetycznie optymalna stabilizacja stężonej gnojowicy z ferm przemysłowych*. Ochrona Środowiska. Wydawnictwo PZJTS nr 402 — tom I (XIV) Wrocław 1983.
- [10] Graczyk M. — *Dezaktywacja sanitarna gnojowicy — przeżywalność jaj helmitów w warunkach termofilowych*. Ochrona Środowiska (w druku).
- [11] Dönges H. J. — *Problematik der Gasverwertung*. Wiener Mitteilungen. Wasser, Abwasser, Gewässer. Band 47 — Wien 1982.