



## Enzymatyczna hydroliza tłuszczów odpadowych

Tadeusz Antczak, Alina Krystynowicz, Edward Galas

Instytut Biochemii Technicznej  
Politechnika Łódzka, Łódź

### Enzymatic Hydrolysis of Waste Fats

#### Summary

The intracellular lipases of *Mucor circinelloides* and *Mucor racemosus* immobilised *in situ* as well as the extracellular lipase of *Rhizopus nigricans* in soluble form were applied to enzymatic hydrolysis of waste fats from oil and meat industry, waste sludge of fats from municipal and industrial sewage-treatment plants and waste water containing microemulsion of fats. The reaction of hydrolysis of plant and animal waste fats was carried out by two methods. The first one was a partial hydrolysis of acylglycerols to obtain mono- and diacylglycerols. The second variant was complete hydrolysis of fats to obtain glycerol and free fatty acids. It has been demonstrated that lipase of *Rhizopus nigricans* partly hydrolysed waste fats. The products of hydrolysis contained 35-45% mono- and diacylglycerols. These products may be used as emulsifier in the hydrolysis of fats. The yield of hydrolysis of waste fats by immobilised *Mucor* lipases was from 85 up to over 95%. Waste sludge of fats from municipal and industrial sewage contain 12-62% of free fatty acids. This kind of material was hydrolysed without an emulsifier but with the addition of calcium chloride. The yield of hydrolysis of acylglycerols was from 45 to 76%. The yield of hydrolysis of microemulsion of fats in waste water by immobilised *Mucor* lipases was from 80 up to over 95%. As the hydrolysis products contained free fatty acids, mono- and diacylglycerols, it was easy to make emulsions which could be utilised in anaerobic-aerobic processes.

#### Adres do korespondencji

Tadeusz Antczak,  
Instytut Biochemii  
Technicznej,  
Politechnika Łódzka,  
ul. Stefanowskiego 4/10,  
90-924 Łódź,  
e-mail:  
tad45an@snack.p.lodz.pl

#### Key words:

lipase, waste fats, hydrolysis.

### 1. Wstęp

Tłuszcze należą do surowców odnawialnych, których znaczenie gospodarcze dotyczy nie tylko aspektu żywieniowego, lecz

jest przede wszystkim związane z wykorzystaniem ich jako chemicznych surowców podstawowych (1).

Tradycyjne, chemiczne procesy hydrolizy tłuszczów prowadzone są w obecności katalizatorów nieorganicznych w temperaturze do 250°C i ciśnieniu do 80 bar. Metody te, mimo że są efektywne, powodują powstawanie niepożądanych produktów ubocznych, polimerów wyższych kwasów tłuszczowych, węglowodorów i innych substancji, co stwarza konieczność dalszego oczyszczania produktów hydrolizy (2).

Lipazy (EC 3.1.1.3) są hydrolazami estrów glicerolu i wyższych kwasów tłuszczowych (3). Działają na substraty nierozpuszczalne w wodzie, co decyduje o przebiegu reakcji na powierzchni rozdziału faz z szybkością zależną od wielkości tej powierzchni (4,5).

Metody enzymatycznej hydrolizy tłuszczów posiadają w porównaniu z ich hydrolizą chemiczną szereg zalet. Zaliczyć do nich można:

- optymalne wykorzystanie tłuszczu;
- możliwość uzyskania produktów o określonej konfiguracji;
- prowadzenie procesu w warunkach energooszczędnych (temp. hydrolizy 30-40°C);
- ograniczenie wydatków inwestycyjnych (koszt reaktora);
- czystość ekologiczną procesu (brak produktów ubocznych) (6).

Większość lipaz, których źródłem są grzyby nitkowate, wykazuje specyficzność w stosunku do 1,3-sn-pozycji w triacyloglicerolach. Produktami hydrolizy są zatem: wolne kwasy tłuszczowe, 1,2 (2,3)-diacyloglicerole i 2-monoacyloglicerole. Produkty te nie są stabilne, ponieważ acyl z pozycji 2 migruje tworząc 1,3-diacyloglicerole i 1(3) monoacyloglicerole, które są dalej hydrolizowane. Dlatego przedłużenie czasu hydrolizy triacyloglicerolu w obecności lipazy o specyficzności pozycyjnej 1,3-sn powoduje całkowitą hydrolizę tłuszczu. Ostateczny skład produktów hydrolizy tłuszczów zależy zarówno od specyficzności stosowanych enzymów, ich właściwości (inhibicja wolnymi kwasami tłuszczowymi), parametrów prowadzenia procesu (stężenie lipazy, czas hydrolizy) jak i sposobu prowadzenia reakcji (hydroliza, acydoliza, alkoholiza) (7,8). Handlowe preparaty zawierają często kilka różniących się właściwościami lipaz, których końcowy efekt działania jest obserwowany przez użytkownika.

Sz szczególnie cennymi produktami hydrolizy tłuszczów są mono- i diacyloglicerole. Substancje te należą do niejonowych emulgatorów o wysokiej równowadze hydrofilno-lipofilnej (HLB), których udział w ogólnym rynku emulgatorów wynosi aż 73,5% (9). Mono- i diacyloglicerole można otrzymać na drodze alkoholizy, tj. hydrolizy tłuszczów w obecności nadmiaru glicerolu (7,10,11) lub syntezy katalizowanej przez lipazy w środowisku niewodnym (12). Bioemulgatory te nazywane także „zielonymi” charakteryzują się wysokim stopniem czystości. W środowisku naturalnym ulegają łatwo biodegradacji. W świetle przepisów prawa zalicza się je do produktów naturalnych.

Tłuszcze odpadowe w zależności od miejsca powstania mogą stanowić bądź surowiec do dalszego przerobu i wykorzystania lub uciążliwy odpad, który dopiero po hydrolizie można utylizować w procesach oczyszczania tlenowego lub beztlenowego.



W pracy przeprowadzono doświadczenia częściowej lub całkowitej hydrolizy tłuszczów odpadowych za pomocą lipaz grzybowych otrzymanych w Instytucie Biochemii Technicznej na Politechnice Łódzkiej (13-17).

## 2. Materiały i metody

### 2.1. Otrzymywanie lipaz

W badaniach stosowano lipazy *Mucor racemosus* i *Mucor circinelloides* (według starego nazewnictwa *Mucor javanicus*) w postaci immobilizowanych preparatów mycelialnych otrzymanych przez odwodnienie biomasy acetonem oraz rozpuszczalną lipazę *Rhizopus nigricans* (13-17).

### 2.2. Hydroliza tłuszczów odpadowych

Hydrolizę odpadowych tłuszczów: roślinnych (olej rzepakowy i słonecznikowy) oraz zwierzęcych (łój wołowy i smalec wieprzowy) prowadzono w reaktorze periodycznym z mieszaniem o objętości 1 dm<sup>3</sup> i ciągłym reaktorze kolumnowym o objętości 0,1 dm<sup>3</sup>.

Odpadowe osady tłuszczowe: I – tłuszcze z piaskownika napowietrzanego z komunalnej oczyszczalni ścieków, II – tłuszcze z oczyszczalni ścieków zakładów mięsnych i III – tłuszcze z oczyszczalni ścieków zakładów włókienniczych hydrolizowano w hermetycznych butelkach szklanych o pojemności 50 cm<sup>3</sup>, umieszczonych na termostatowanej wodą wytrząsarce mimośrodowej. Odpady te hydrolizowano także w układzie dwufazowym: woda-heksan. Do fazy wodnej wprowadzano immobilizowane lipazy *Mucor*, natomiast w fazie organicznej rozpuszczano osady tłuszczowe. Całość inkubowano w temperaturze pokojowej mieszając mieszadłem magnetycznym.

Hydrolizę mikroemulsji tłuszczów zawartych w odciekach produkcyjnych z zakładów mięsnych i włókienniczych prowadzono w termostatowanych reaktorach kolumnowych o wymiarach: długość 200 mm i średnica 12 mm wypełnionych lipazami *Mucor* zmieszanyymi w stosunku 1 : 1 (v/v) z piaskiem.

Szczegóły dotyczące warunków procesu hydrolizy zamieszczono pod tabelami.

### 2.3. Analiza produktów reakcji

Stożenie hydrolizy tłuszczów określano metoda alkalimetryczną (18). Produkty reakcji rozdzielano metodą TLC (19). Stężenia poszczególnych frakcji określano metodą komputerowej analizy obrazu z wykorzystaniem systemu IPS firmy IMAL (20).

### 3. Wyniki i dyskusja

Lipazy działają na granicy podziału faz tłuszcz-woda. Ponieważ hydrolizują substrat nierozpuszczalny w wodzie ich produktywność jest w znacznej mierze uzależniona od stopnia rozwinięcia powierzchni tłuszczu. Metodą najbardziej efektywną, umożliwiającą duże rozwinięcie powierzchni jest przeprowadzenie tłuszczu w emulsję. W tym celu stosuje się całą gamę jonowych i niejonowych emulgatorów, których zasadniczą wadą jest to, że pozostają w środowisku po zakończeniu procesu hydrolizy. W niektórych przypadkach reakcję hydrolizy acylogliceroli można prowadzić bez dodatku emulgatora. W tym przypadku prowadzi się wstępną homogenizację mieszaniny tłuszcz, woda i enzym. Lipaza podczas homogenizacji zakotwicza się na powierzchni tłuszczu i wytwarza mono- i diacyloglicerole oraz wolne kwasy tłuszczowe, które stabilizują powstałą emulsję. Następnie mieszaninę przenosi się do reaktora i kontynuuje reakcję intensywnie mieszając. Sposób ten jednak może prowadzić do częściowej inaktywacji lipazy. Dzieje się tak, zwłaszcza gdy jest stosowany do hydrolizy tłuszczów zwierzęcych, które aby otrzymać jednorodną emulsję wymagają temperatury 50-60°C.

W prezentowanej pracy hydrolizę tłuszczów prowadzono w dwóch wariantach (21,22): **pierwszy** – polegał na częściowej hydrolizie substratu w celu maksymalnego nagromadzenia mono- i diacylogliceroli; w **drugim** – odpady tłuszczowe poddawano całkowitej hydrolizie z wytworzeniem glicerolu i wolnych kwasów tłuszczowych.

Lipaza *Rh. nigricans* o specyficzności 1,3-sn wykazuje właściwość częściowej hydrolizy triacylogliceroli. Przedłużenie czasu reakcji nie prowadzi do powstawania produktów całkowitej hydrolizy tłuszczów. Enzym ten jest inhibowany przez powstałe wolne kwasy tłuszczowe i bez dodatku jonów wapniowych reakcja ulega zatrzymaniu na poziomie stopnia hydrolizy 35-40% (tab. 1). Z kolei w obecności immobilizowanych lipaz *Mucor* następuje całkowita hydroliza tłuszczów. W przypadku tłuszczów zwierzęcych brak postępów hydrolizy lub jej niższa wydajność w porównaniu z tłuszczami roślinnymi wynikała przede wszystkim z trudności w uzyskaniu emulsji o rozwiniętej powierzchni w próbach bez dodatku emulgatora (tab. 1).

W tabeli 2 zamieszczono skład produktów enzymatycznej hydrolizy oleju słonecznikowego za pomocą lipazy *Rh. nigricans*. Po 2-godzinnej hydrolizie uzyskano sumaryczną zawartość mono- i diacylogliceroli równą 35%, przy nagromadzeniu wolnych kwasów tłuszczowych równym 25,3%. Po 5-godzinnej reakcji stężenie mono- i diacylogliceroli wzrosło tylko do 39,7%. Jednocześnie zawartość wolnych kwasów tłuszczowych zwiększyła się do 36,6%.



Tabela 1

## Hydrolyza tłuszczów odpadowych

Tłuszcz	Stopień hydrolyzy (%)									
	<i>Rb. nigricans</i>			<i>M. circinelloides</i>			<i>M. racemosus</i>			
	Emulgatory									
	brak <sup>1</sup>	A	B	C	brak <sup>1</sup>	A	C	brak <sup>1</sup>	A	C
łój wołowy	0	34,1	0	22,3	12,5	93,5	92,8	19,4	97,1	96,3
smalec wieprzowy	0	14,2	8,2	18,3	15,7	94,4	94,1	24,3	98,9	97,2
olej rzepakowy	33,0	27,5	36,3	24,8	95,7	97,4	93,4	93,4	98,1	96,7
olej słonecznikowy	35,0	36,0	37,2	26,7	92,3	95,3	91,6	96,2	98,4	98,1

<sup>1</sup> substraty homogenizowano z lipazą w ciągu 5 minut.

Emulgatory: brak – bez emulgatora, A – alkohol poliwinylowy 2%, B – guma arabska 2%, C – produkty częściowej, enzymatycznej hydrolyzy oleju rzepakowego lipazą *Rh. nigricans* 2%.

**Warunki reakcji:** 400 g tłuszczu, 200 ml buforu fosforanowego o pH 7,0, lipaza *Rh. nigricans* w ilości 400 J/g tłuszczu, lipazy *Mucor* w ilości 2 g, mieszanie 120 min<sup>-1</sup>, temp. 37°C, czas hydrolyzy 2,5 godz.

Tabela 2

Skład produktów enzymatycznej hydrolyzy odpadowego oleju słonecznikowego za pomocą lipazy *Rb. nigricans*

Produkty	Zawartość (%)			
	czas hydrolyzy (godz.)			
	2	2,5	3	5
monoacyloglicerole	8,7	8,9	8,7	8,9
kwasy tłuszczowe	25,3	32,5	34,4	36,6
1,2 lub 2,3 diacyloglicerole	20,0	21,9	22,3	21,5
1,3 diacyloglicerole	6,5	7,7	8,3	9,4
triacylloglicerole	39,5	29,0	26,3	23,6

**Warunki reakcji :** 400 g oleju, 200 ml buforu fosforanowego o pH 7,0, lipaza w ilości 400 J/g oleju, czas homogenizowania bez emulgatora 5 minut, mieszanie 250 min<sup>-1</sup>, temp. 37°C.

Immobilizowaną lipazę *M. circinelloides* zmieszaną z piaskiem (odmyty piasek rzeczny) zastosowano jako wypełnienie reaktora kolumnowego do ciągłej hydrolyzy emulsji odpadowego oleju rzepakowego (tab. 3). W układzie tym zemulgowany olej rzepakowy ulegał w 80% hydrolyzie (przy szybkości przepływu 55 cm<sup>3</sup>/h). Po piętnastu dniach procesu stwierdzono obniżenie stopnia hydrolyzy oleju o ok. 8,5%. Wyliczony, operacyjny czas półtrwania ( $T_{1/2}$ ) tego reaktora wynosił ok. 50 dni. Uzyskany rezultat świadczy o dobrej stabilności stosowanego preparatu lipazy. Stosując różne szybkości przepływu emulsji przez reaktor można regulować końcowy stopień hydrolyzy oleju. Po 15-20 dniach procesu nie udało się uniknąć zjawiska kanalikowania i zapychania kolumny. W tabeli 4 przedstawiono skład produktów hydrolyzy ole-

ju rzepakowego otrzymanych w reaktorze kolumnowym wypełnionym lipazą *M. circinnelloides*. Szybkość przepływu substratów przez reaktor dobrano tak, aby stopień hydrolizy tłuszczu po wyjściu z reaktora wynosił ok. 40%. Zawartość mono- i diacylogliceroli w tym przypadku wahała się od 9 do 17%.

Tabela 3

Hydroliza emulsji oleju rzepakowego w ciągłym reaktorze kolumnowym wypełnionym mieszaniną lipazy *M. circinnelloides* z piaskiem

Czas (doby)	Hydroliza (%)
1	80,1
2	80,0
3	80,0
6	79,8
10	78,4
15	73,2

Warunki reakcji: 10 g oleju, 90 cm<sup>3</sup> 2% alkoholu poliwinylowego o pH 7, czas homogenizacji 10 min, masa lipazy 10 gramów, szybkość przepływu emulsji 55 cm<sup>3</sup>/godz., temp. 30°C.

Tabela 4

Skład produktów hydrolizy oleju za pomocą lipazy *M. circinnelloides*

Produkt	Zawartość (%)		
	czas pracy reaktora (doby)		
	2	5	8
triacyloglicerole	36,0	54,2	42,7
diacyloglicerole	8,8	3,5	4,8
monoacyloglicerole	8,2	5,6	10,7
wolne kwasy tłuszczowe	47,0	36,7	41,6

Prowadzono także hydrolizę balastowych osadów tłuszczowych z oczyszczalni ścieków (23). Odpady te, gromadzone na różnych etapach procesu technologicznego oczyszczalni ścieków, mikrobiologicznie zanieczyszczone, należało przeprowadzić w formę umożliwiającą ich ponowne zawrócenie do utylizacji. Hydrolizowane osady zawierały wyjściowo dużo wolnych kwasów tłuszczowych (tab. 5), które jako inhibitory lipaz uniemożliwiały proces hydrolizy enzymatycznej. Dlatego reakcję prowadzono w obecności jonów wapniowych, które wiążąc wolne kwasy tłuszczowe w nierozpuszczalne mydła usuwały je z powierzchni międzyfazowej umożliwiając dalszy postęp reakcji. Po hydrolizie mieszaninę reakcyjną na skutek nagromadzenia mono- i diacylogliceroli można łatwo przeprowadzić w emulsję, co umożliwia zawrócenie jej do procesu oczyszczania.



Tabela 5

## Charakterystyka odpadowych osadów tłuszczowych

	Osad		
	I	II	III
sucha substancja	30,4%	95,7%	96,6%
pH	6,8	5,1	5,6
frakcja tłuszczowa <sup>a</sup>	20,1%	93,8%	94,6%
wolne kwasy tłuszczowe <sup>b</sup>	12,3%	50,3%	62,5%

<sup>a</sup>frakcja rozpuszczalna w eterze dietylowym,

<sup>b</sup>mierzone metodą alkalimetryczną w przeliczeniu na kwas stearynowy (16).

W badaniach stosowano stężenia osadów tłuszczowych w środowisku reakcji w zakresie od 1 do 20%. Ocena uzyskanych wyników (tab. 6) jest uzależniona od postawionego celu. Jeżeli celem jest maksymalny rozkład tłuszczów, to należy stosować stężenia osadów nie większe niż 5%. Wówczas gdy postawimy za cel przeprowadzenie w postaci emulsji największą masę osadu tłuszczowego (co umożliwi jego powtórne zawrócenie do procesu oczyszczania) można stosować z powodzeniem stężenia 20%. Stosując 10% stężenie osadów uzyskano stosunkowo wysoki stopień hydrolizy tłuszczów (45-70%). Masa przeprowadzonego w emulsję osadu była równa 5 g/(dm<sup>3</sup>×h) (w przeliczeniu na 1 dm<sup>3</sup> objętości reaktora i 1 godzinę procesu hydrolizy).

Tabela 6

## Wpływ masy odpadowych osadów tłuszczowych na stopień enzymatycznej hydrolizy tłuszczów

Osad	Stopień hydrolizy tłuszczów (%)				
	0,1	0,2	0,5	1	2
<i>Lipaza M. circinelloides</i> <sup>a</sup>					
I	93	89	75	68	45
II	95	90	79	70	44
III	92	89	78	69	48
<i>Lipaza M. racemosus</i> <sup>a</sup>					
I	96	91	80	62	40
II	97	93	82	66	42
III	95	92	86	64	44
<i>Lipaza Rb. nigricans</i> <sup>b</sup>					
I	65	63	55	45	28
II	69	64	58	51	33
III	70	65	56	52	35

Warunki reakcji: 10 cm<sup>3</sup> wody wodociągowej o pH 6-7, 50 mg lipaz immobilizowanych<sup>a</sup> lub 200 J aktywności lipazy rozpuszczalnej<sup>b</sup>, temp. 40°C, czas 20 godz., mieszanie 180 min<sup>-1</sup>.

Opracowano także metodę hydrolizy odpadowych osadów tłuszczowych w środowisku dwufazowym woda-heksan (tab. 7). Badania prowadzono dla współczynników stosunku objętościowego faz 0,1-1 (współczynnik stosunku objętościowego faz A jest ilorazem objętości fazy organicznej do objętości fazy wodnej,  $A = V_{\text{org}}/V_{\text{wody}}$  (24)). Tłuszcze ulegały rozpuszczeniu w fazie organicznej. Imobilizowane lipazy znajdowały się na granicy faz woda-heksan. Uwolnione w efekcie hydrolizy wolne kwasy tłuszczowe wędrowały do fazy organicznej, a glicerol do fazy wodnej. Zastosowanie układu dwufazowego umożliwiło prowadzenie hydrolizy odpadów tłuszczowych w temperaturze pokojowej bez konieczności wcześniejszego przeprowadzenia ich w emulsję. Stopień hydrolizy tłuszczów wynosił 46-56%. Uzyskane produkty hydrolizy po odparowaniu heksanu, łatwo można przeprowadzić w emulsje i zawrócić do procesu oczyszczania. Preparaty imobilizowanych lipaz *Mucor* można stosować w tym procesie wielokrotnie (21), chociaż otwarty pozostaje problem ich trwałości mikrobiologicznej, zwłaszcza w środowisku odpadowych osadów tłuszczowych, które same w sobie są bardzo zakażone.

Tabela 7

## Hydroliza odpadowych osadów tłuszczowych w układzie dwufazowym woda-heksan

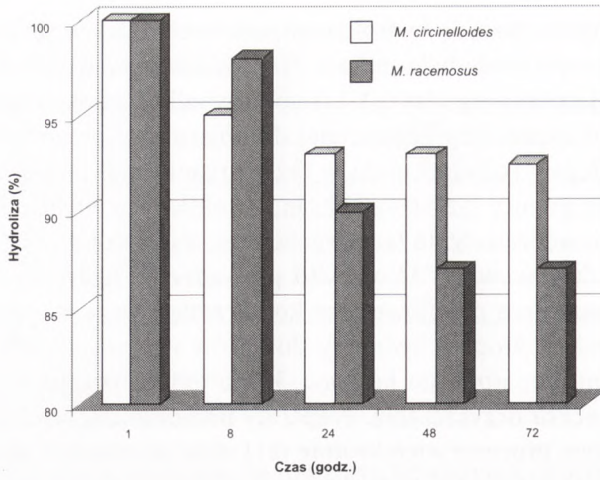
$A^1 = V_{\text{org}}/V_{\text{wody}}$	Stopień hydrolizy tłuszczów (%)			
	0	0,1	0,5	1
Osad	Lipaza <i>M. circinelloides</i>			
I	4	48	47	52
II	5	41	40	46
III	5	42	44	50
Osad	Lipaza <i>M. racemosus</i>			
I	5	46	55	56
II	4	45	52	51
III	3	48	54	53

<sup>1</sup> Współczynnik stosunku objętościowego faz.

Warunki reakcji: 10 cm<sup>3</sup> wody wodociągowej o pH 6-7, heksan w proporcji jak powyżej, 50 mg lipaz imobilizowanych, temp. 20°C, czas 7 dni.

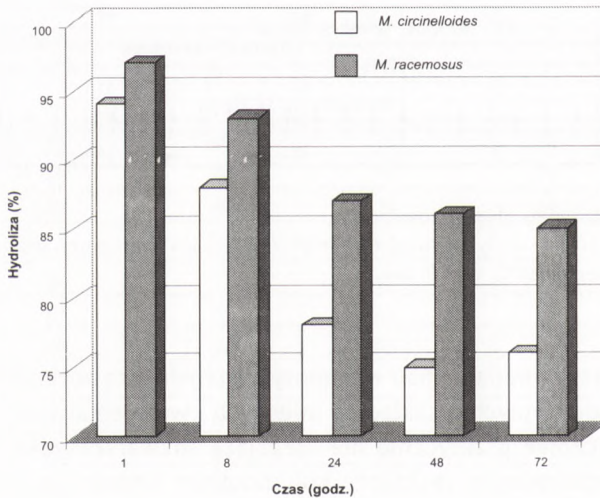
Prowadzono także badania nad enzymatyczną hydrolizą acylogliceroli zawartych w odciekach produkcyjnych z zakładów mięsnych i włókienniczych (25). Były to mikroemulsje tłuszczowe praktycznie nie ulegające rozwarstwieniu. Badania prowadzono w termostatowanym reaktorze kolumnowym wypełnionym lipazami *Mucor* zmieszanych z piaskiem, przez który, w temperaturze 20°C, przepuszczano odcieki z szybkością 1-5 cm<sup>3</sup> × min<sup>-1</sup>. Stwierdzono, że lipazy *Mucor* efektywnie hydrolizują tłuszcze zawarte w odciekach w zakresie pH 5-8. Stosunkowo niewielkie wyjściowe





Rys. 1. Wpływ czasu przepływu przez reaktor kolumnowy odcieków z zakładów mięsnych na stopień hydrolizy tłuszczów.

stężenie tłuszczów zawartych w odciekach, a co za tym idzie niewielkie stężenie powstałych po hydrolizie wolnych kwasów tłuszczowych nie powodowało inhibicji enzymu. Proces hydrolizy prowadzono bez dodatku jonów wapniowych. Poziom hydrolizy tłuszczów zawartych w odciekach przemysłu mięsnego równał się 86-95% (rys. 1). Natomiast w tych samych warunkach w nieco mniejszym stopniu, 80-90% ulegały hydrolizie odcieki przemysłu włókienniczego (rys. 2).



Rys. 2. Wpływ czasu przepływu przez reaktor kolumnowy odcieków z zakładów włókienniczych na stopień hydrolizy tłuszczów.

Podczas hydrolizy tłuszczów katalizowanej przez lipazy następuje niewielka zmiana odczynu środowiska reakcji. Wielkość tej zmiany jest uzależniona od stężenia i rozpuszczalności w wodzie uwolnionych kwasów tłuszczowych. W przeprowadzonych przez nas badaniach wykazano, że zmiany pH mierzone z dużą precyzją (0,001 jednostki pH) mogą stanowić miarę aktywności lipazy (26).

#### 4. Podsumowanie

Aby wykorzystać odpady produkcyjne przemysłu mięsnego i tłuszczowego jako surowiec do produkcji wolnych kwasów tłuszczowych, glicerolu lub emulgatorów należy przeprowadzić ich całkowitą lub częściową hydrolizę.

Balastowe osady tłuszczowe z oczyszczalni ścieków, jak i tłuszcze zawarte w odciekach produkcyjnych w postaci mikroemulsji są uciążliwym zanieczyszczeniem, które po hydrolizie enzymatycznej mogą być zawrócone do ponownej utylizacji.

Zastosowanie lipazy *Rh. nigricans* do hydrolizy odpadowych tłuszczów roślinnych umożliwiło otrzymanie mieszaniny produktów zawierających od 35 do 45% mono- i diacylogliceroli. Tak otrzymana mieszanina może być stosowana jako emulgator w procesie enzymatycznej hydrolizy tłuszczów. Lipazy *Mucor* hydrolizowały te odpady z wydajnością 92-98%.

W przypadku hydrolizy osadów tłuszczowych nagromadzających się w różnych etapach oczyszczania w oczyszczalniach ścieków: komunalnych, zakładów mięsnych i włókienniczych uzyskano 45-76% rozkład zawartych w nich acylogliceroli. Proces hydrolizy osadów przebiegał też efektywnie w układzie dwufazowym heksan-woda. Odpady po hydrolizie enzymatycznej można łatwo przeprowadzić w emulsje co umożliwi ich zawrócenie do procesu oczyszczania.

Lipazy *Mucor* zastosowano też jako wypełnienie ciągłego reaktora kolumnowego, który wykorzystano do hydrolizy tłuszczów w postaci mikroemulsji, zawartych w odciekach produkcyjnych przemysłu mięsnego i włókienniczego. W zależności od pochodzenia odcieków proces przebiegał z wydajnością 80-95%.

#### Literatura

1. Niewiadomski H., (1984), *Surowce tłuszczowe*, WNT, Warszawa.
2. Park Y. K., Pastore G. M., Almeiola M. M., (1988), *JAACS*, 65, 252-258.
3. *Enzyme nomenclature*, (1984), Ed. Webb E. C., Academic Press, INC, London.
4. Entressangles B., Desnuelle P., (1968), *Biochim. Biophys. Acta.*, 159, 285-291.
5. Brockerhoff H., Jensen G., (1974), *Lipolytic enzymes*, London.
6. Buchler M., Wandrey Ch., (1989), *Fett Wissenschaft Technologie*, 4, 156-164.
7. Adamczak M., Bednarski W., (1994), *Biotechnologia*, 4, 140-153.
8. Macrae A. R., (1983), *JAACS*, 60, 291-297.
9. Harwood J., (1989), *TIBS*, 14, 125-126.
10. McNeill G. P., Shimizu S., Yamane T., (1991), *JAACS*, 68, 1-5.
11. McNeill G. P., Yamane T., (1991), *JAACS*, 68, 6-10.



12. van der Padt A., Keurentjes J. T. F., Sewalt J. J. W., van Dam E. M., van Dorp L. J., vant Riet K., (1992), *JAOCS*, 69, 748-754.
13. Galas E., Antczak T., Krystynowicz A., (1989), Patent 150601.
14. Galas E., Antczak T., Krystynowicz A., (1989), Patent 150604.
15. Galas E., Antczak T., Krystynowicz A., (1995), Patent 167092.
16. Antczak T., Krystynowicz A., Galas E., (1995), *Biotechnologia*, 29, 82-91.
17. Antczak T., Krystynowicz A., Galas E., (1997), *Właściwości lipaz grzybowych otrzymywanych w Instytucie Biochemii Technicznej Politechniki Łódzkiej*, V Sympozjum naukowo-techniczne, „Biotechnologia środowiskowa”, cz. 1, 175-184.
18. Arends I. M., Dorochow W. W., Gonczarow J. I., Swierczkova T. M., (1979), *Prokl. Bioch. Microb.*, 15, 676-685.
19. Tsujisaka Y., Okumura S., Iwai M., (1977), *Biochim. Biophys. Acta.*, 489, 415-421.
20. Instrukcja systemu rozpoznawania obrazów IPS-IMAL (1993).
21. Antczak T., Krystynowicz A., Galas E., (1995), *Wykorzystanie lipaz drobnoustrojowych do hydrolizy tłuszczów odpadowych*, III Sympozjum naukowo-techniczne „Biotechnologia środowiskowa”, Ustroń-Jaszowiec, 33-40.
22. Antczak T., Krystynowicz A., Galas E., (1998), *Enzymatyczna hydroliza przemysłowych odpadów tłuszczowych*, Ogólnopolska konferencja nt. „Współczesne osiągnięcia proekologiczne w przemyśle chemicznym”, Toruń, Referaty i Komunikaty, 135-140.
23. Antczak T., Krystynowicz A., Galas E., (1997), *Próby enzymatycznej hydrolizy odpadowych osadów tłuszczowych z oczyszczalni ścieków przemysłowych*, V Sympozjum naukowo-techniczne „Biotechnologia środowiskowa”, Ustroń-Jaszowiec, cz. 1, 141-149.
24. Antczak T., Galas E., (1997), *Biotechnologia*, 3(38), 121-133.
25. Antczak T., Krystynowicz A., Galas E., (1998), *Zastosowanie immobilizowanych endolipaz Mucor do hydrolizy tłuszczów zawartych w odciekach produkcyjnych*, Sympozjum naukowo-techniczne „Metody i technologie oczyszczania ścieków przemysłowych”, Kazimierz Dolny, 147-152.
26. Antczak T., Hiler D., Galas E., (1992), *Oznaczanie aktywności lipaz poprzez pomiar zmian pH środowiska reakcji*, XVIII Zjazd PTBioch, Streszczenia referatów i komunikatów zjazdowych, Łódź, 178.