

**Sposób zażęzania kwasu alfa-ketoglutatarowego (AKG) z modelowych oraz  
rzeczywistych plynów pofermentacyjnych techniką wymuszonej osmozy (FO)**

Przedmiotem wynalazku jest sposb zażęzania kwasu alfa-ketoglutatarowego (AKG) z modelowych oraz rzeczywistych plynów pofermentacyjnych z zastosowaniem  
5 techniki wymuszonej osmozy (*ang. forward osmosis*) (FO).

Kwas alfa-ketoglutatarowy (AKG) podobnie jak kwas cytrynowy, fumarowy czy maleinowy zaliczany jest do grupy kwasów cyklu trikarboksylowego, tzw. cyklu Krebsa (W. Zeng, H. Zhang, S.Xu, F. Fang, J. Zhou, *Biores. Resour.*, 243, 2017, 1037-1043 ).  
Nalezy równiez nadmienić, że kwas alfa-ketoglutatarowy spełnia istotną rolę  
10 w metabolizmie komórkowym (pomost pomiędzy metabolizmem energii i białka), a także stanowi prekursor syntezy glutaminianu i glutaminy (Tugnoli B., Giovagoni G., Piva A., Grilli E., *Animals*, 10, 2020, 134 ). Co więcej, kwas alfa-ketoglutatarowy zaliczany jest do grupy nutraceutyków tj. ważnej klasy związków pełniących funkcję prozdrowotną i zapobiegających chorobom (Liu L., Chen C., [doi.org/10.1007/978-981-15-0446-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-15-0446-4_1)).  
15 Kwas alfa-ketoglutatarowy posiada szereg zastosowań praktycznych w tym jako: składnik plynów infuzyjnych (Khan I., Qayyum S., Maqbool F., Farooqui M-u-R., Hayat A., Sharif M., *Indian. J. Mar. Sci.*, 46, 2017, 11), stosowany do wytwarzania środka medycznego użytecznego w profilaktyce i/lub leczeniu stanów chorobowych wywołanych przez bakterie ureolityczne (EP 1 917 959 B1), do ochrony  
20 przed zatruciem cyjankami (Kamzolova S. V., Chiglintseva M. N., Lunina J. N., Morgunov I. G., *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 96 (2012) 783-791), do kontroli i zapobiegania stresowi oksydacyjnemu u ludzi i zwierząt (Otto Ch., Yovkova V., Aurich A., Mauersberger S., Barth G., *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 95 (2012) 905-917).  
Dodatkowo, kwas alfa-ketoglutatarowy stosowany jako dodatek żywieniowy przyczynia  
25 się do rozwoju układu kostnego młodych organizmów, zahamowania procesu osteoporozy u kobiet, wzrostu masy mięśniowej oraz wpływa korzystnie na przyspieszenie procesu gojenia się ran (Grzesiak P., Słupecka-Zielińska M., Woliński J., *Developmental Period Medicine*, 20, 2016, 1). Co więcej, w literaturze przedmiotu

opisane są przykłady zastosowania kwasu alfa-ketoglutarowego jako substratu w reakcji termicznej polikondensacji do elastomeru tj. poli(triolu alfa-ketoglutaranu) (Barrett D. G., Yousaf M. N., *Macromolecules*, 41 (2008) 6347 – 6352) oraz w reakcji syntezy nowych N-heterocyklicznych związków stosowanych w leczeniu chorób nowotworowych (Li Y., Sun L., Feng J., Wu R., Xu Q., Zhang C., Chen N., Xie X., *Bioprocess. Biosyst. Eng.*, 39 (2016) 967-976). Na skalę przemysłową kwas alfa-ketoglutarowy produkowany jest w procesie wieloetapowej syntezy chemicznej z zastosowaniem estrów dietylowych kwasu bursztynowego i szczawowego z około 75% wydajnością (Guo H., Su S., Madzak C., Zhou J., Chen H., Chen G., *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 23 (2016) 100). Z drugiej strony, metoda syntezy chemicznej oparta na utlenianiu kwasu glikolowego glutaminianem sodu wymaga zastosowania katalizatora miedziowego, ale także jest mało wydajna i generuje duże ilości niebezpiecznych odpadów (Guo H., Su S., Madzak C., Zhou J., Chen H., Chen G., *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 23 (2016) 100). Jedną z głównych alternatywnych, przyjaznych dla środowiska metod pozyskiwania kwasu alfa-ketoglutarowego jest jego mikrobiologiczna produkcja z zastosowaniem szczepów bakteryjnych (*Arthrobacter paraffineus*, *Pseudomonas fluorescens*, *Serratia marcescens*, *Corynebacterium glutamicum*, *Bacillus ssp*) oraz drożdży *Yarrowia Lipolytica* (Guo H., Su S., Madzak C., Zhou J., Chen H., *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 100, 9875-9884). Sposób bioprodukcji AKG został szeroko opisany w literaturze światowej oraz licznych patentach (Chernyavskaya O. G., Shishkanova N. V., Il'chenko A. P., Finogenova T. V., *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 53, 152-158, 2000; Holz M., Otto Ch., Kretzschmar A., Yovkova V., Aurich A., Pötter M., Marx A., Barth G., *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 89, 1519-1526, 2011; Yin X., Li J., Shin H-D., Du G., Liu L., Chen J., *Biotechnol. Adv.*, 33, 830-841, 2015; Yin X., Madzak C., Du G., Zhou J., Chen J., *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 96, 1527-1537, 96, 2012; Li Y., Sun L., Feng J., Wu R., Xu Q., Zhang C., Chen N., Xie X., *Bioprocess. Biosyst. Eng.*, 39, 967-976, 2016; US 2,776,926 ). Należy podkreślić, że produktem finalnym każdego procesu biotechnologicznego jest wieloskładnikowa mieszanina (tzw. płyn pofermentacyjny), która oprócz głównego

metabolitu zawiera również reszty nieprzereagowanych substratów, biomasę, cukry, poliole oraz sole nieorganiczne będące pozostałością pożywki hodowlanej. Co więcej, stężenia głównych metabolitów płynu pofermentacyjnego zazwyczaj nie przekraczają 10%. W konsekwencji, koszt separacji, zateżenia i oczyszczania głównego metabolitu pozyskiwanego na drodze mikrobiologicznej konwersji może stanowić od 50 – 80% całkowitego kosztu produkcyjnego. Do głównych metod stosowanych w procesie separacji i zateżenia głównych produktów fermentacji zaliczyć należy metody klasyczne w tym: destylacja, ekstrakcja rozpuszczalnikowa, wymiana jonowa i strącanie (de Souza Moraes L., de Araujo Kronemberger F., Conceição Ferraz H., Habert A. C., *J. Ind. Eng. Chem.*, 21, 206-211, 2015; Zhang W., Liu X., Fan H., Zhu D., Wu X., Huang X., Tang J., *Ind. Crop. Prod.*, 86, 231-238, 2016; ; Cao Y., Zhang R., Sun C., Cheng T., Liu Y., Xian M., *BioMed Res. Int.*, 1-12, 2013; Gebauer D., Kellermeier M., Gale J. D., Bergström L., Cölfen H., *Chem. Soc. Rev.*, 43, 2348-2371, 2014; Li Q., Wang D., Wu Y., Li W. L., Zhang Y. J., Xing J. M., Su Z. G., *Sep. Purif. Technol.*, 72, 294-300, 2010). Jednakże, procesy te wymagają dużej ilości niebezpiecznych rozpuszczalników oraz wysokich nakładów energetycznych, co może znacząco wpływać na wzrost całkowitego kosztu procesu izolacji pożądanego metabolitu małowcząsteczkowego. Sposoby wydzielania kwasu AKG z zastosowaniem metod klasycznych opisano szeroko w literaturze (Peng X., Zeng W., Xu S., Zha J., Zhou, J., Xu G., *Biotechnol Prog.*, 34, 2018, 1370-1379; Zeng W., Xu S., Du G., Liu S., Zhou J., *Bioproc. Biosyst. Eng.*, 41, 2018, 1519-1527; US 2,724,680). Z drugiej strony, w ostatnich latach obserwowany jest wzrost zainteresowania procesami izolacji i zateżenia kwasów organicznych z płynów pofermentacyjnych z zastosowaniem przyjaznych dla środowiska metod należących do grupy technik membranowych w tym: mikrofiltracji (MF), ultrafiltracji (UF), nanofiltracji (NF), odwróconej osmozy (RO), elektrodializy klasycznej (ED), elektrodializy z membraną bipolarną (EDBM) (Mänttari M., Lahti J., Hatakka H., Louhi-Kultanen M., Kallioinen M., A, *J. Mem. Sci.*, 490, 84-91, 2015; Li Q-Z., Jiang X-L., Feng X-J., Wang J-M., Sun Ch., Zhang H-B., Xian M., Liu H-Z., *J. Microbiol. Biotechnol.*, 26, 1-8, 2016; Jones R. J., Massanet-Nicolau J., Guwy A., Premier G. C.,

Dinsdale R. M., Reilly M., *Bioresource Technol.*, 189, 279–284, 2015; Zhang L., Weng H-X., Chen H-L., Gao C-J., *J. Environ. Sci. (China)*, 14, 181-187, 2002; US 20140371486 A1; US 20050003499 A1; US 8999171 B2). Warto zaznaczyć, że sposób

90 separacji kwasu alfa-ketoglutazarowego z jednoczesnym elektro-zakwaszaniem techniką EDBM został opisany w literaturze przedmiotu i patentach (Szczygiełda M., Prochaska K., *J. Membr. Sci.*, 536, 2017, 37-43; Szczygiełda M. Prochaska K., *Sep. Sci. Technol.*, 55, 2020; Szczygiełda M, Prochaska K., *Des. Wat. Treat.*, 128, 2018, 27-33; PL.232558 B1; PL.231635 B1). Co więcej, w ostatnim czasie obserwowany jest wzrost

95 zainteresowania procesem osmozy wymuszonej (*ang. Forward Osmosis*) (FO) stosowanym jako jeden z etapów separacji i zateżniania kwasów organicznych w tym: kwasu bursztynowego, octowego, propionowego oraz mlekowego (Law Y. J., Mohammad A.W., 51, 2017, 264-270; Law J. Y., Mohamma A. W., Tee Z. K., Zaman N. K., Jahim J. M., Santanaraj J., Sajab M. S., 583, 2019, 139-151; Garcia-Aguirre J.,

100 Morales-Alvarado M., Fotidis I. A., Angelidaki I., *Biochem. Eng. J.*, 155, 2020, 107482; US/2012/0118827 A1; Law Y. J., Mohammad A. W., *Int. J. Biomas. Renew.*, 5, 2016, 8-13;). W procesie FO transport wody przez półprzepuszczalną membranę jest konsekwencją osmotycznej różnicy ciśnień pomiędzy roztworem o niskim zasoleniu (*ang. Feed solution*), a roztworem silnie skoncentrowanym (osmolit) (*ang. Draw*

105 *solution*) (Chen G. Q., Artemi A., Lee J., Gras S. L., Kentish S. E., *Sep. Purif. Technol.*, 215, 2019, 652-659; Volpin F., Yu H., Cho J., Lee C., Phuntsho S., Ghaffour N., Vrouwevalder J. S., Shon H. K., *J. Hazard. Mater.*, 378, 2019, 120724; Johnson D. J., Suwileh W. A., Mohammed A. W., Hilal N., *Desalination*, 434, 2018, 100-120 ). Ze względu na proekologiczny charakter, niższy koszt operacyjny oraz mniejszą podatność

110 na blokowanie membran (brak ciśnienia hydraulicznego), w porównaniu do tradycyjnych ciśnieniowych procesów membranowych (mikro-, ultra-, nanofiltracja, odwrócona osmoza) proces FO znajduje zastosowanie w obszarze odsalania wody oraz oczyszczania ścieków (Zheng L., Price W. E., He T., Nghiem L. D., *Desalination*, 476, 2020, 114215; Khan J. A., Shon H. K., Nghiem L. D., *Curr. Poll. Rep.*, 5, 2019, 337-

115 352). Ponadto proces FO jest nisko-energochłonną alternatywą dla klasycznych metod

zateżania (odparowanie/ destylacja) ( Zohrabian L., Hankins N. P., Field R. W., J. Water Proc. Eng., 33, 2020, 101042; Qasim M., Mohammed F., Aidan A., Darwish N. A., Deslination, 423, 2017, 12-20). Dlatego też, takie rozwiązanie znacząco ogranicza koszty związane z usunięciem nadmiaru wody z rzeczywistego płynu  
120 pofermentacyjnego lub ze strumieni uzyskiwanych na poszczególnych etapach separacji  
pożądanego metabolitu. Przykładowa koncepcja zateżania bursztynianów  
z rzeczywistego płynu pofermentacyjnego w układzie hybrydowym NF – FO została  
przedstawiona przez J. Y. Law i współ. (Law Y. J., Mohammad A.W., 51, 2017, 264-  
270). Z kolei, w pracy pt. „*Recovery of succinic acid from fermentation broth by*  
125 *forward osmosis assisted crystallization process*” ( Law J. Y., Mohamma A. W., Tee Z.  
K., Zaman N. K., Jahim J. M., Santanaraj J., Sajab M. S., 583, 2019, 139-151), autorzy  
przedstawili sposób wydzielania kwasu bursztynowego w układzie sekwencyjnym typu:  
wirowanie – adsorpcja na węglu aktywnym – wirowanie/filtracja – wymuszona osmoza  
– zakwaszanie – krystalizacja – suszenie, uzyskując produkt o wysokiej czystości  
130 90,52%. Jednocześnie, cytowani autorzy podkreślają wysokie znaczenie aplikacyjne  
zapropozowanego rozwiązania w przemyśle bioprosesowym.

Jednakże, należy wyraźnie podkreślić, że nie odnotowano żadnych doniesień  
wskazujących na zastosowanie procesu wymuszonej osmozy do zateżania kwasu alfa-  
ketoglutazarowego z roztworów modelowych, a w szczególności rzeczywistych płynów  
135 pofermentacyjnych.

Istotą wynalazku jest sposób zatężania kwasu alfa-ketoglutazarowego z roztworów modelowych oraz rzeczywistego płynu pofermentacyjnego otrzymanego w procesie biokonwersji glukozy techniką wymuszonej osmozy (FO). W sposobie według wynalazku jednoskładnikowy modelowy roztwór kwasu alfa-ketoglutazarowego o stężeniu równym 10 g/dm<sup>3</sup> oraz wartości pH w przedziale od 2 do 5 regulowanej poprzez dodatek wodorotlenku sodu, wieloskładnikowy roztwór modelowy zawierający: 145 kwas alfa-ketoglutazarowy o stężeniu 10 g/dm<sup>3</sup>, kwas mlekowy o stężeniu 5,3 g/dm<sup>3</sup>, kwas octowy o stężeniu 1,0 g/dm<sup>3</sup> oraz etanol o stężeniu 14,9 g/dm<sup>3</sup> oraz wartości pH w przedziale od 2 do 4 regulowanej poprzez dodatek wodorotlenku sodu, albo 150 rzeczywisty płyn pofermentacyjny zawierający: kwas alfa-ketoglutazarowy o stężeniu 10 g/dm<sup>3</sup>, kwas mlekowy o stężeniu 10,5 g/dm<sup>3</sup>, kwas octowy o stężeniu 1,5 g/dm<sup>3</sup> oraz etanol o stężeniu 16,2 g/dm<sup>3</sup> oraz wartości pH w przedziale od 2 do 4 regulowanej poprzez dodatek wodorotlenku sodu, zatęża się techniką wymuszonej osmozy (FO), z zastosowaniem modułu membranowego wyposażonego w membranę dedykowaną do 155 procesu wymuszonej osmozy wykonanej z tri-octanu celulozy, o łącznej powierzchni aktywnej membrany równej 155 cm<sup>2</sup>, w określonych warunkach procesowych: zastosowanie roztworu o objętości początkowej równej 1 dm<sup>3</sup> oraz pH w zakresie od 2 do 5 (korzystnie 4) jako roztwór zasilający, zastosowanie wodnego roztworu chlorku sodu o stężeniu 4 M i objętości początkowej równej 0,6 dm<sup>3</sup> jako roztwór osmotyczny 160 (osmolit), recyrkulowanych w układzie zamkniętym, natężenie przepływu roztworów roboczych równe 60 dm<sup>3</sup>/h oraz temperaturze 25 ± 5 °C. Korzystnym jest aby rzeczywisty płyn pofermentacyjny przed poddaniem procesowi zatężania techniką wymuszonej osmozy oczyścić w celu usunięcia biomasy i związków wielkocząsteczkowych.

165

Dzięki zastosowaniu sposobu zatężania według wynalazku, uzyskano następujące efekty techniczno-użytkowe:

- efektywne usunięcie wody z roztworów modelowych oraz rzeczywistego

- 170 płyну pofermentacyjnego,
- możliwość przyjaznego dla środowiska, nisko-energochłonnego zateżania roztworów modelowych kwasu alfa-ketoglutazarowego oraz rzeczywistego płyru pofermentacyjnego.

175 Wynalazek w przykładowym wykonaniu został zaprezentowany na rysunku gdzie fig. 1 przedstawia wykres usunięcia wody z jednoskładnikowego roztworu kwasu alfa-ketoglutazarowego w czasie trwania procesu FO, fig. 2 zmianę stężenia kwasu alfa-ketoglutazarowego w jednoskładnikowym roztworze kwasu alfa-ketoglutazarowego w czasie trwania procesu FO, fig. 3 usunięcia wody z modelowego płyru pofermentacyjnego zawierającego: kwas alfa-ketoglutazarowy o stężeniu 10 g/dm<sup>3</sup>, kwas mlekowy o stężeniu 5,3 g/dm<sup>3</sup>, kwas octowy o stężeniu 1,0 g/dm<sup>3</sup> oraz etanol o stężeniu 14,9 g/dm<sup>3</sup> oraz wartości pH w przedziale od 2 do 4 regulowanej poprzez dodatek wodorotlenku sodu, fig. 4 zmianę stężenia kwasu alfa-ketoglutazarowego w modelowym płyru pofermentacyjnym zawierającym: kwas alfa-ketoglutazarowy o stężeniu 10 g/dm<sup>3</sup>,  
185 kwas mlekowy o stężeniu 5,3 g/dm<sup>3</sup>, kwas octowy o stężeniu 1,0 g/dm<sup>3</sup> oraz etanol o stężeniu 14,9 g/dm<sup>3</sup> oraz wartości pH w przedziale od 2 do 4 regulowanej poprzez dodatek wodorotlenku sodu, fig. 5 usunięcia wody z rzeczywistego płyru pofermentacyjnego zawierającego: kwas alfa-ketoglutazarowy o stężeniu 10 g/dm<sup>3</sup>, kwas mlekowy o stężeniu 10,5 g/dm<sup>3</sup>, kwas octowy o stężeniu 1,5 g/dm<sup>3</sup> oraz etanol o stężeniu 16,2 g/dm<sup>3</sup> oraz wartości pH w przedziale od 2 do 4 regulowanej poprzez dodatek wodorotlenku sodu, fig. 6 zmianę stężenia kwasu alfa-ketoglutazarowego w rzeczywistym płyru pofermentacyjnym zawierającym: kwas alfa-ketoglutazarowy o stężeniu 10 g/dm<sup>3</sup>, kwas mlekowy o stężeniu 10,5 g/dm<sup>3</sup>, kwas octowy o stężeniu 1,5 g/dm<sup>3</sup> oraz etanol o stężeniu 16,2 g/dm<sup>3</sup> oraz wartości pH w przedziale od 2 do 4  
195 regulowanej poprzez dodatek wodorotlenku sodu.

Istotę wynalazku ilustrują następujące przykłady:

#### **Przykład 1**

Wymuszona osmoza jednoskładnikowego modelowego roztworu kwasu-alfa ketoglutazarowego o stężeniu  $10 \text{ g/dm}^3$ , objętości  $1 \text{ dm}^3$  oraz pH 4.

200            Procesowi wymuszonej osmozy poddano jednoskładnikowy modelowy roztwór kwasu alfa-ketoglutazarowego o stężeniu  $10 \text{ g/dm}^3$ , objętości  $1 \text{ dm}^3$  oraz pH 4. Roztwór zatężony wprowadzono do zbiornika zasilającego, podczas gdy roztwór wprowadzany do komory osmolitu zawierał chlorek sodu o stężeniu 4 M. Proces FO prowadzono z zastosowaniem modułu membranowego wyposażonego w płaską membranę  
205            dedykowaną do procesu FO, o łącznej powierzchni aktywnej równej  $155 \text{ cm}^2$ . Membrana płaska w procesie FO zorientowana była warstwą aktywną do roztworu zasilającego. Proces FO prowadzono w układzie zamkniętym z recyrkulacją roztworów roboczych, przez 180 min. przy stałym natężeniu przepływu roztworów roboczych równym  $60 \text{ dm}^3/\text{h}$ , w temperaturze  $25 \pm 5^\circ\text{C}$ . Zmiana stopnia usunięcia wody  
210            z roztworu zasilającego oraz zmiana stężenia kwasu alfa-ketoglutazarowego w roztworze zasilającym w czasie prowadzenia procesu FO została przedstawiona na fig. 1 oraz fig. 2.

### Przykład 2

Wymuszona osmoza wieloskładnikowego roztworu modelowego zawierającego:  
215            kwas alfa-ketoglutazarowy o stężeniu  $10 \text{ g/dm}^3$ , kwas mlekowy o stężeniu  $5,3 \text{ g/dm}^3$ , kwas octowy o stężeniu  $1,0 \text{ g/dm}^3$  oraz etanol o stężeniu  $14,9 \text{ g/dm}^3$ , objętości  $1 \text{ dm}^3$  oraz pH 4.

Procesowi wymuszonej osmozy poddano wieloskładnikowy roztwór modelowy zawierający: kwas alfa-ketoglutazarowy o stężeniu  $10 \text{ g/dm}^3$ , kwas mlekowy o stężeniu  
220             $5,3 \text{ g/dm}^3$ , kwas octowy o stężeniu  $1,0 \text{ g/dm}^3$  oraz etanol o stężeniu  $14,9 \text{ g/dm}^3$ , objętości  $1 \text{ dm}^3$  oraz pH 4. Roztwór zatężony wprowadzono do zbiornika zasilającego, podczas gdy roztwór wprowadzany do komory osmolitu zawierał chlorek sodu o stężeniu 4 M. Proces FO prowadzono z zastosowaniem modułu membranowego wyposażonego w płaską membranę dedykowaną do procesu FO o łącznej powierzchni

225 aktywnej równej  $155 \text{ cm}^2$ . Membrana płaska w procesie FO zorientowana była warstwą  
aktywną do roztworu zasilającego. Proces FO prowadzono w układzie zamkniętym z  
recyrkulacją roztworów roboczych, przez 180 min. przy stałym natężeniu przepływu  
roztworów roboczych równym  $60 \text{ dm}^3/\text{h}$ , w temperaturze  $25 \pm 5^\circ\text{C}$ . Zmiana stopnia  
usunięcia wody z roztworu zasilającego oraz zmiana stężenia kwasu alfa-  
230 ketoglutazarowego w roztworze zasilającym w czasie prowadzenia procesu FO została  
przedstawiona na fig. 3 oraz fig. 4.

### Przykład 3

Wymuszona osmoza rzeczywistego płynu pofermentacyjnego zawierającego:  
235 kwas alfa-ketoglutazarowy o stężeniu  $10 \text{ g/dm}^3$ , kwas mlekowy o stężeniu  $10,5 \text{ g/dm}^3$ ,  
kwas octowy o stężeniu  $1,5 \text{ g/dm}^3$  oraz etanol o stężeniu  $16,2 \text{ g/dm}^3$ , objętości  $1 \text{ dm}^3$   
oraz pH 4.

Procesowi wymuszonej osmozy poddano rzeczywisty płyn pofermentacyjny  
zawierający: kwas alfa-ketoglutazarowy o stężeniu  $10 \text{ g/dm}^3$ , kwas mlekowy o stężeniu  
240  $10,5 \text{ g/dm}^3$ , kwas octowy o stężeniu  $1,5 \text{ g/dm}^3$  oraz etanol o stężeniu  $16,2 \text{ g/dm}^3$ ,  
objętości  $1 \text{ dm}^3$  oraz pH 4. Roztwór zatężony wprowadzono do zbiornika zasilającego,  
podczas gdy roztwór wprowadzany do komory osmolitu zawierał chlorek sodu  
o stężeniu 4 M. Proces FO prowadzony z zastosowaniem modułu membranowego  
wyposażonego w płaską membranę dedykowaną do procesu FO o łącznej powierzchni  
245 aktywnej równej  $155 \text{ cm}^2$ . Membrana płaska w procesie FO zorientowana była warstwą  
aktywną do roztworu zasilającego. Proces FO prowadzono w układzie zamkniętym  
z recyrkulacją roztworów roboczych, przez 900 min. przy stałym natężeniu przepływu  
roztworów roboczych równym  $60 \text{ dm}^3/\text{h}$ , w temperaturze  $25 \pm 5^\circ\text{C}$ . Zmiana stopnia  
usunięcia wody z roztworu zasilającego oraz zmiana stężenia kwasu alfa-  
250 ketoglutazarowego w roztworze zasilającym w czasie prowadzenia procesu FO została  
przedstawiona na fig. 5 oraz fig. 6.

REKTOR  
POLITECHNIKI POZNAŃSKIEJ  
prof. dr hab. inż. Teofil Jesionowski