(19) URZĄD PATENTOWY RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ

(10) **PL 242680 B1**

(12) # Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **436082**
(22) Data zgłoszenia: **2020.11.25**
(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2022.05.30 BUP 22/2022**
(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.04.03 WUP 14/2023**

(51) MKP:
C07C 51/42 *(2006.01)*
B01D 61/42 *(2006.01)*
C07C 59/347 *(2006.01)*

(73) Uprawniony z patentu:
POLITECHNIKA POZNAŃSKA, Poznań, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:
MATEUSZ SZCZYGIEŁDA, Komorniki, PL
KRYSTYNA PROCHASKA, Suchy Las, PL

(54) Tytuł:
Sposób zatężania kwasu alfa-ketoglutarowego (AKG) z modelowych oraz rzeczywistych płynów pofermentacyjnych techniką wymuszonej osmozy (FO)

PL 242680 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób zatężania kwasu alfa-ketoglutarowego (AKG) z modelowych oraz rzeczywistych płynów pofermentacyjnych z zastosowaniem techniki wymuszonej osmozy (*ang. forward osmosis*) (FO).

Kwas alfa-ketoglutarowy (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. Resourc., 243, 2017, 1037–1043). Należy również nadmienić, że kwas alfa-ketoglutarowy spełnia istotną rolę 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-ketoglutarowy 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). Kwas alfa-ketoglutarowy posiada szereg zastosowań praktycznych w tym jako: składnik płynów 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 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. Biotechno., 95 (2012) 905–917). Dodatkowo, kwas alfa-ketoglutarowy stosowany jako dodatek żywieniowy przyczynia 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 szczawiowego 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 (Chemyavskaya O. G., Shishkanova N. V., Il'chenko A. R, 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, zatężania 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 zatężania 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 małocząsteczkowego. 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., Biopropc. Biosyst. Eng., 41, 2018, 1519–1527; US 2,724,680). Z drugiej strony, w ostatnich latach obserwowany jest wzrost zainteresowania procesami izolacji i zatężania 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) (Mänttäri 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 separacji kwasu alfa-ketoglutarowego 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 zainteresowania procesem osmozy wymuszonej (*ang. Forward Osmosis*) (FO) stosowanym jako jeden z etapów separacji i zatężania 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., Morales-Alvarado M., Fotidis I. A., Angelidaki L, Biochem. Eng. J., 155, 2020, 107482; US/2012/0118827 A1; Law Y. J., Mohammad A. W., Int. J. Biomas. Renew., 5, 2016, 813). 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 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 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, 337–352). Ponadto proces FO jest nisko-energochłonną alternatywą dla klasycznych metod zatężania (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 pofermentacyjnego lub ze strumieni uzyskiwanych na poszczególnych etapach separacji pożądanego metabolitu. Przykładowa koncepcja zatężania 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 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 90,52%. Jednocześnie, cytowani autorzy podkreślają wysokie znaczenie aplikacyjne zaproponowanego rozwiązania w przemyśle bioprocesowym.

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

Istotą wynalazku jest sposób zatężania kwasu alfa-ketoglutarowego 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-ketoglutarowego o stężeniu równym 10 g/dm^3 oraz wartości pH w przedziale od 2 do 5 regulowanej poprzez dodatek wodorotlenku sodu, wieloskładnikowy roztwór modelowy zawierający: kwas alfa-ketoglutarowy o stężeniu 10 g/dm^3, kwas mlekowy o stężeniu 5,3 g/dm^3, kwas octowy o stężeniu 1,0 g/dm^3 oraz etanol o stężeniu 14,9 g/dm^3 oraz wartości pH w przedziale od 2 do 4 regulowanej poprzez dodatek wodorotlenku sodu, albo rzeczywisty płyn pofermentacyjny zawierający: kwas alfa-ketoglutarowy o stężeniu 10 g/dm^3, kwas mlekowy o stężeniu 10,5 g/dm^3, kwas octowy o stężeniu 1,5 g/dm^3 oraz etanol o stężeniu 16,2 g/dm^3 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 procesu wymuszonej osmozy wykonanej z tri-octanu celulozy, o łącznej powierzchni aktywnej membrany równej 155 cm^2, w określonych warunkach procesowych: zastosowanie roztworu o objętości początkowej równej 1 dm^3 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^3 jako roztwór osmotyczny (osmolit), recyrkulowanych w układzie zamkniętym, natężenie przepływu roztworów roboczych równe 60 dm^3/h oraz temperaturze 25 ± 5°C. Korzystnym jest aby rzeczywisty płyn pofermentacyjny przed poddaniem procesowi zatężania techniką wymuszonej osmozy oczyścić aby usunąć biomasę i związki wielkocząsteczkowe.

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

- efektywne usunięcie wody z roztworów modelowych oraz rzeczywistego płynu pofermentacyjnego,
- możliwość przyjaznego dla środowiska, nisko-energochłonnego zatężania roztworów modelowych kwasu alfa-ketoglutarowego oraz rzeczywistego płynu pofermentacyjnego.

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

Istotę wynalazku ilustrują następujące przykłady:

Przykład 1

Wymuszona osmoza jednoskładnikowego modelowego roztworu kwasu-alfa ketoglutarowego o stężeniu 10 g/dm^3, objętości 1 dm^3 oraz pH 4.

Procesowi wymuszonej osmozy poddano jednoskładnikowy modelowy roztwór kwasu alfa-ketoglutarowego o stężeniu 10 g/dm^3, objętości 1 dm^3 oraz pH 4. Roztwór zatężany 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 aktywnej równej 155 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 dm^3/h, w temperaturze 25 ± 5°C. Zmiana stopnia usunięcia wody z roztworu zasilającego oraz zmiana stężenia kwasu alfa-ketoglutarowego w roztworze zasilającym w czasie prowadzenia procesu FO została przedstawiona na fig. 1 oraz fig. 2.

Przykład 2

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

Procesowi wymuszonej osmozy poddano wieloskładnikowy roztwór modelowy zawierający: kwas alfa-ketoglutarowy o stężeniu 10 g/dm^3, kwas mlekowy o stężeniu 5,3 g/dm^3, kwas octowy o stężeniu 1,0 g/dm^3 oraz etanol o stężeniu 14,9 g/dm^3, objętości 1 dm^3 oraz pH 4. Roztwór zatężany 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 aktywnej równej 155 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 dm^3/h, w temperaturze 25 ± 5°C. Zmiana stopnia usunięcia wody z roztworu zasilającego oraz zmiana stężenia kwasu alfa-ketoglutarowego w roztworze zasilającym w czasie prowadzenia procesu FO została przedstawiona na fig. 3 oraz fig. 4.

Przykład 3

Wymuszona osmoza rzeczywistego płynu pofermentacyjnego zawierającego: kwas alfa-ketoglutarowy o stężeniu 10 g/dm^3, kwas mlekowy o stężeniu 10,5 g/dm^3, kwas octowy o stężeniu 1,5 g/dm^3 oraz etanol o stężeniu 16,2 g/dm^3, objętości 1 dm^3 oraz pH 4.

Procesowi wymuszonej osmozy poddano rzeczywisty płyn pofermentacyjny zawierający: kwas alfa-ketoglutarowy o stężeniu 10 g/dm^3, kwas mlekowy o stężeniu 10,5 g/dm^3, kwas octowy o stężeniu 1,5 g/dm^3 oraz etanol o stężeniu 16,2 g/dm^3, objętości 1 dm^3 oraz pH 4. Roztwór zatężany 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 aktywnej równej 155 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 dm^3/h, w temperaturze 25 ± 5°C. Zmiana stopnia usunięcia wody z roztworu zasilającego oraz zmiana stężenia kwasu alfa-ketoglutarowego w roztworze zasilającym w czasie prowadzenia procesu FO została przedstawiona na fig. 5 oraz fig. 6.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób zatężania kwasu alfa-ketoglutarowego (AKG), z modelowych oraz rzeczywistych płynów pofermentacyjnych z zastosowaniem techniki wymuszonej osmozy, **znamienny tym**, że jednoskładnikowy modelowy roztwór kwasu alfa-ketoglutarowego o stężeniu 10 g/dm^3, wieloskładnikowy roztwór modelowy zawierający: kwas alfa-ketoglutarowy o stężeniu 10 g/dm^3, kwas mlekowy o stężeniu 5,3 g/dm^3, kwas octowy o stężeniu 1,0 g/dm^3 oraz etanol o stężeniu 14,9 g/dm^3 oraz wartości pH w przedziale od 2 do 4 regulowanej poprzez dodatek wodorotlenku sodu, albo rzeczywisty płyn pofermentacyjny zawierający: kwas alfa-ketoglutarowy o stężeniu 10 g/dm^3, kwas mlekowy o stężeniu 10,5 g/dm^3, kwas octowy o stężeniu 1,5 g/dm^3 oraz etanol o stężeniu 16,2 g/dm^3 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 procesu wymuszonej osmozy wykonanej z tri-octanu celulozy o łącznej powierzchni aktywnej membrany równej 155 cm^2, w określonych warunkach procesowych: zastosowanie roztworu o objętości początkowej równej 1 dm^3 oraz pH w zakresie od 2 do 4 (korzystnie 4) jako roztwór zasilający, zastosowanie wodnego roztworu chlorku sodu o stężeniu 4 M i objętości początkowej równej 0,6 dm^3 jako roztwór osmotyczny (osmolit), recyrkulowanych w układzie zamkniętym, natężenie przepływu roztworów roboczych równe 60 dm^3/h oraz temperaturze 25 ± 5°C.
2. Sposób według zastrzeżenia, **znamienny tym**, że rzeczywisty płyn pofermentacyjny przed zatężaniem z zastosowaniem procesu wymuszonej osmozy oczyszcza się aby usunąć biomasę i związki wielkocząsteczkowe.

Rysunki

Fig. 1

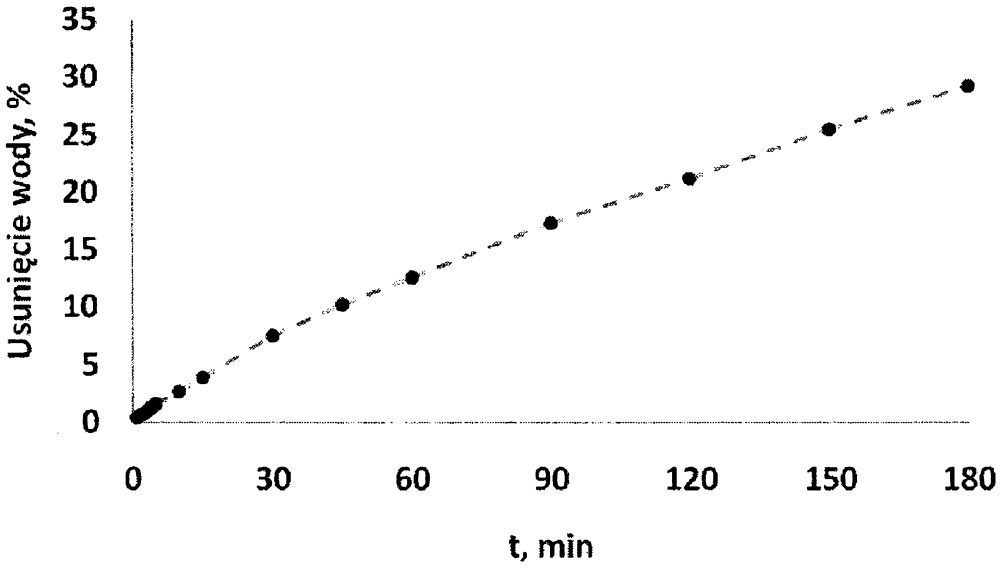


Fig. 2

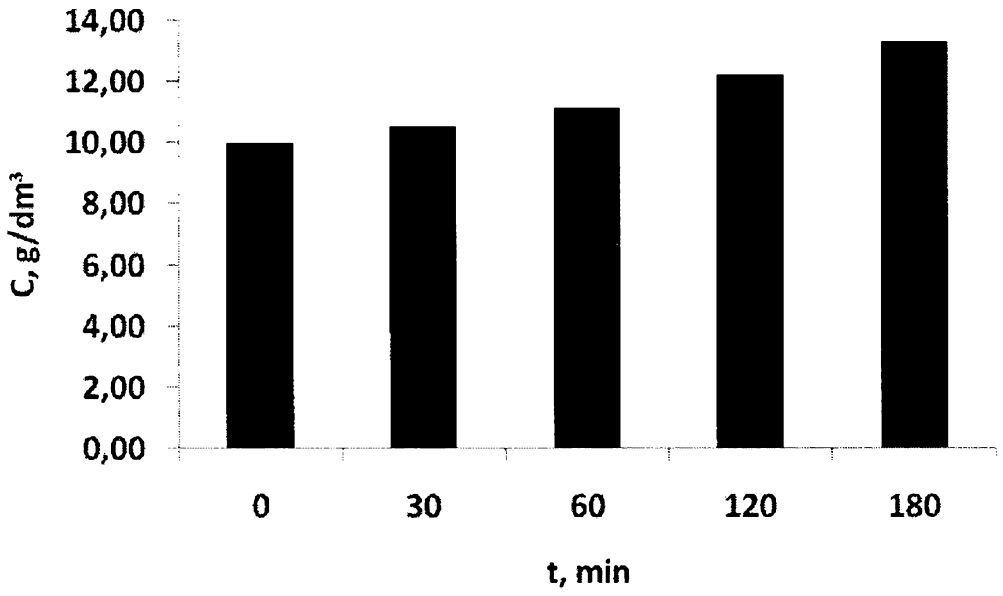

14,00
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
C, g/dm³
0
30
60
120
180
t, min

Fig. 3

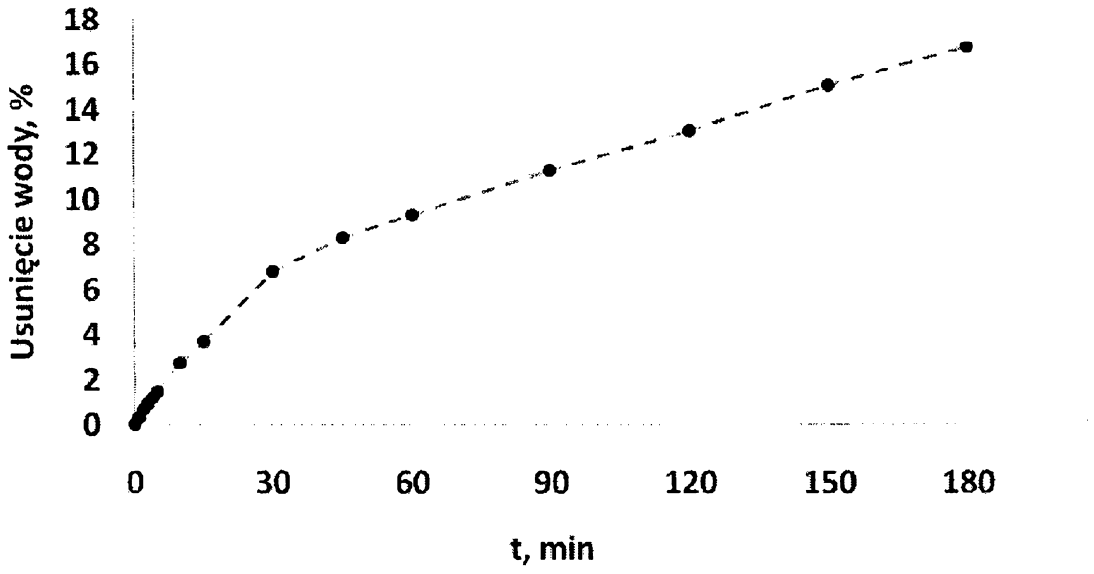

18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
Usunięcie wody, %
0
30
60
90
120
150
180
t, min

Fig.4

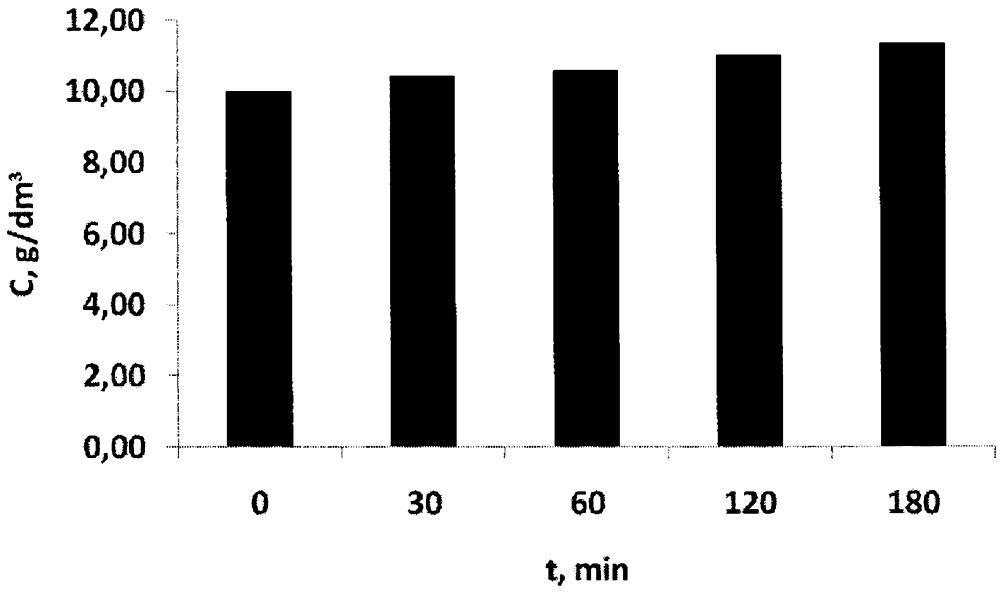

12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
C, g/dm³
0
30
60
120
180
t, min

Fig. 5

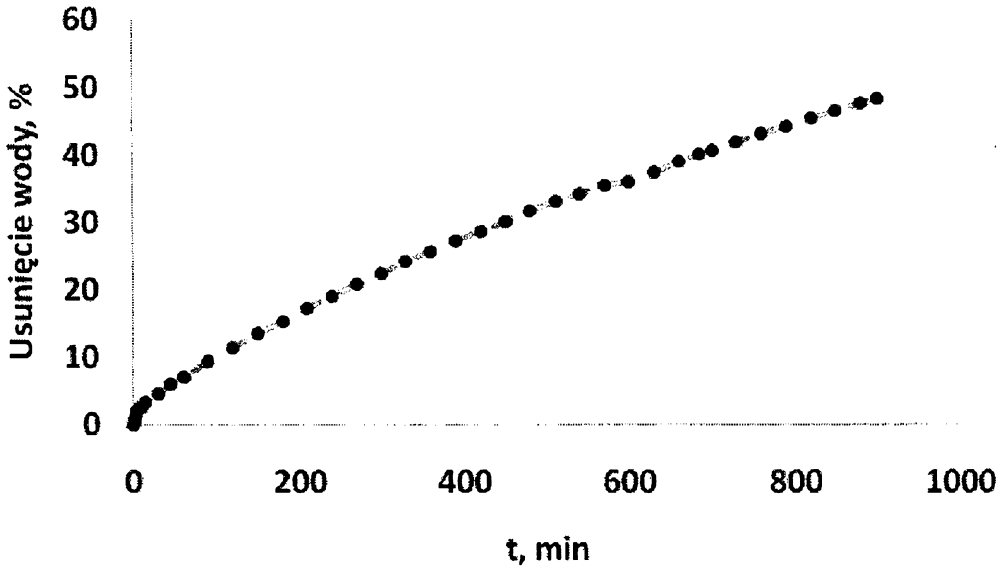
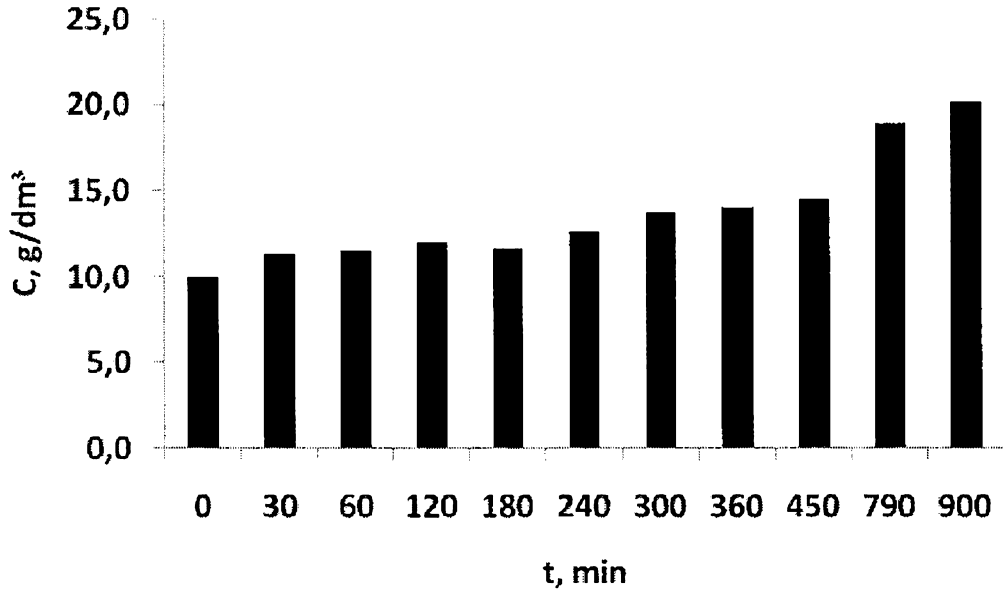

60
50
40
30
20
10
0
Usunięcie wody, %
0
200
400
600
800
1000
t, min

Fig. 6


25,0
20,0
15,0
10,0
5,0
0,0
C, g/dm³
0
30
60
120
180
240
300
360
450
790
900
t, min