

## **STRESZCZENIE PRACY DOKTORSKIEJ**

W pracy przedstawiono rezultaty badań otrzymania etanolu w procesie fermentacji laktozy (roztwory modelowe) oraz laktozy z serwatki w bioreaktorze zintegrowanym z bezpośrednią kontaktową destylacją membranową (DCMD). Połączenie tych dwóch procesów miało na celu intensyfikację biokonwersji laktozy do etanolu. Proces DCMD umożliwiał ciągłą separację i usuwanie lotnych składników przez membrany umieszczone w bioreaktorze. Badania biokonwersji laktozy w procesie fermentacji w bioreaktorze membranowym zintegrowanym z DCMD były podstawą do opracowania nowej metody otrzymywania etanolu.

W badaniach wstępnych określono wpływ temperatury i stężenia etanolu w nadawie, na wielkość strumienia permeatu przechodzącego przez hydrofobowe membrany kapilarne w procesie DCMD. Wykazano, że etanol może być efektywnie oddzielany podczas DCMD nawet z rozcieńczonych roztworów.

Przeprowadzono badania odbiałczania serwatki, aby mogła być wykorzystana w procesie fermentacji w bioreaktorze membranowym. Ich celem było usunięcie jak największej ilości białka z serwatki, które może być przyczyną blokowania membran oraz spowodować ich zwilżanie. Wstępnie serwatkę odbiałczano metodą chemicznej i termicznej koagulacji. Następnie przeprowadzono głębsze odbiałczanie metodą ultrafiltracji (UF) z wykorzystaniem membran ceramicznych. Białka serwatkowe powodowały blokowanie membrany, odkładając się na powierzchni membrany i/lub w porach, co ograniczało jej przepuszczalność. W związku z tym opracowano okresowe, efektywne mycie powierzchni membrany ceramicznej i całej instalacji, aby odtworzyć jej początkową przepuszczalność. Wykazano, że serwatka może być efektywnie rozdzielana podczas UF. Początkowa wydajność membrany po UF serwatki została przywracana w 90 %.

W trakcie badań określono wpływ składu serwatki na stopień jej zateżenia oraz wpływ białka zawartego w nadawie na przebieg procesu DCMD. Wykazano, że w procesie zateżania serwatki, wszystkie jej składniki pozostają w roztworze nadawy. Stopień ich retencji utrzymywał się na stałym poziomie w zakresie 99,8 – 100 %. Badania FT – IR potwierdziły, że główną przyczyną foulingu w DCMD było zatrzymywanie białek serwatkowych na powierzchni membran (od strony nadawy), co powodowało częściowe ich zwilżenie.

Fermentację laktozy (z roztworów modelowych oraz obecnej w serwatce) przeprowadzono w bioreaktorze połączonym z instalacją do DCMD. Moduł tworzyły hydrofobowe membrany kapilarne wykonane z polipropylenu (PP). Nadawę stanowiły roztwory modelowe laktozy o stężeniach początkowych: 50, 100 i 200 g·dm<sup>-3</sup> lub wcześniej zateżonej serwatki zawierającej laktozę o stężeniach początkowych: ok. 60 i 115 g·dm<sup>-3</sup>. W kolejnych wariantach fermentacji serwatkę wzbogacano dodatkiem dwucukrów: laktozy lub sacharozy, aby uzyskać stężenie 50 lub 100 g·dm<sup>-3</sup>. Przed procesem fermentacji, laktozę poddawano procesowi hydrolizy enzymatycznej z użyciem enzymu  $\beta$  – D – galaktozydazy z grzybów strzępkowych *Aspergillus oryzae*. Proces hydrolizy prowadzono przez 24 h w temperaturze 323 K. W procesie fermentacji wykorzystywano drożdże *Saccharomyces cerevisiae*. Proces fermentacji prowadzono w temperaturze 310 K przez 72 lub 96 h z ciągłym wydzielaniem produktów fermentacji.

Badania wykazały, że proces fermentacji laktozy do etanolu w bioreaktorze zespolonym z DCMD może być skutecznie przeprowadzony. Membrany nie uległy zwilżeniu i można je z powodzeniem zastosować do rozdzielania fermentującej brzezki. Ciągłe usuwanie etanolu i innych lotnych produktów inhibitujących fermentację w bioreaktorze membranowym zespolonym z DCMD powodowało wzrost wydajności produkcji etanolu z laktozy w porównaniu z wynikami otrzymanymi podczas fermentacji klasycznej w reaktorze bez DCMD. Ponadto wzbogacanie serwatki sacharozą lub laktozą spowodowało znaczący wzrost wydajności w MDBR, przy czym najwyższą otrzymano podczas dodawania do brzezki sacharozy (94 % wydajności teoretycznej). Wydajności te były porównywalne z uzyskanymi dla modelowych roztworów laktozy (89 i 96 %) oraz o ok. 10 % niższe dla fermentacji serwatki wzbogaconej laktozą (początkowe stężenia cukru 50 i 100 g·dm<sup>-3</sup>). Podczas fermentacji bez DCMD wydajność była znacznie niższa i nie przekraczała 50 % wydajności teoretycznej. W przypadku fermentacji serwatki zateżonej (początkowe stężenie cukru 115 g·dm<sup>-3</sup>) na niską wydajność miało wpływ wysokie stężenie soli mineralnych, zateżanych podczas DCMD równocześnie z innymi nielotnymi składnikami serwatki.