





Pannon Egyetem  
Vegyésmérnöki- és Anyagtudományok Doktori Iskola

# Többrétegű polielektrolit nanoszűrő membránok vizsgálata: a sóvisszatartástól az alkoholmentesítésig

DOI:10.18136/PE.2024.866

## DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS

**Készítette:**

**Bóna Áron**

okleveles vegyésmérnök

**Témavezetők:**

**Dr. Nemestóthy Nándor**

egyetemi docens

**Dr. Galambos Ildikó**

egyetemi docens

**Vállalati szakértő:**

**Hegyesné Dr. Vecseri Beáta**

Pécsi Sörfőzde Zrt.

**Pannon Egyetem**

**Soós Ernő Kutató-Fejlesztő Központ**

**Biomérnöki, Membrántechnológiai és Energetikai Kutatóintézet**

**2023**

# Többrétegű polielektrolit nanoszűrő membránok vizsgálata: a sóvisszatartástól az alkoholmentesítésig

Az értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében készült a Pannon Egyetem Vegyészmérnöki- és Anyagtudományok Doktori Iskolája keretében Bio-, környezet- és vegyészmérnöki tudományok tudományágban

Írta: **Bóna Áron**

Témavezetők:

**Dr. Nemestóthy Nándor** egyetemi docens  
Elfogadásra javaslom (igen / nem)

**Dr. Galambos Ildikó** egyetemi docens  
Elfogadásra javaslom (igen / nem)

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom:  
Bíráló neve: Csákiné Dr. Tombácz Etelka igen /nem

Bíráló neve: Dr. Koris András igen /nem

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján ..... %-ot ért el.

Veszprém, .....  
.....  
(a Bíráló Bizottság elnöke)

A doktori (PhD) oklevél minősítése.....

Veszprém, .....  
.....  
(az EDHT elnöke)

## KIVONAT

A nanoszűrés művelete egyre meghatározóbb szerepet játszik a víz- és szennyvízkezelés terén. A különféle nanoszűrő membránok között kiemelkedő jelentősége van a többrétegű polielektrolit (polyelectrolyte multilayer – PEM) membránoknak, melyek dinamikusan fejlődnek a membránfejlesztés és alkalmazástechnika terén. Hat különböző témakörben vizsgáltam a PEM NF membránok alapvető tulajdonságait és alkalmazási lehetőségeit.

Az első három téma fókuszában a PEM NF membránok alapvető jellemzői állnak, mint például a sóvisszatartás, az ioncserés jelenségek, a felületaktív anyagok hatása és a szelektivitás. A PEM NF membránok esetében megvizsgáltam a divalens ion-visszatartás mérési körüli anomáliákat, ami ezen teljesítmény-mérőszám szisztematikus alábecsléséhez vezethet. Az ioncsere az ionos felületaktív anyagokkal szembeni érzékenység esetében is kulcsfontosságú az ionos tenzidek és a polielektrolitok közötti magas affinitás miatt. Modelloldatokkal vizsgáltam a kis tenzidkoncentrációk hatását a PEM membránokra. A PEM membránok eltérő kémiai összetételű aktív rétege jelentős különbségekhez vezethet a poliamid membránokhoz képest, így magasabb szelektivitáshoz butirát, propionát és acetát ionok szeparációja esetében.

A dolgozatom második felében számos, söriparhoz kapcsolódó gyakorlati alkalmazást mutattam be. Ezen alkalmazások között szerepel a söripari szennyvizek újrahasznosítása és sör alkoholmentesítése. Sörtököly préselével eltömődött PEM NF membrán esetében vizsgáltam a nemionos felületaktív anyag tisztítási hatékonyságát. Különféle NF membránokat hasonlítottam össze élesztő lúgos kesertelenítésekor keletkező szennyvíz újrahasznosításának vizsgálatával. A PEM NF membránok alkalmasságát szűrt és szűretlen sörök alkoholmentesítésére nagy laboratóriumi léptékben sikeresen demonstráltam. Az alkoholmentesítés során elvesztett anyagok (sók, glicerin) pótlásával megfelelő minőségű végterméket állítottam elő. Az alkoholmentesítési művelet hatására a membrán sóvisszatartási értékei nőttek az áteresztőképesség romlása nélkül, ami a szűrési tulajdonságok javulására utal.

## ABSTRACT

Nanofiltration is becoming increasingly pivotal in the field of water and wastewater treatment. Among various nanofiltration membrane types, polyelectrolyte multilayer (PEM) membranes hold significant importance, dynamically evolving regarding membrane development and application techniques. In my doctoral research, I examined the fundamental properties and potential applications of PEM NF membranes in six different areas.

The first three areas focused on the fundamental characteristics of PEM NF membranes, such as salt retention, ion exchange phenomena, the impact of surfactants, and selectivity. Within PEM NF membranes, I investigated the anomalies surrounding divalent ion retention measurements, which could lead to systematic underestimation of performance metrics. Ion exchange played a pivotal role even in the sensitivity to ionically charged surfactants, due to the high affinity between ionizable surfactants and polyelectrolytes. Model solutions were employed to study the impact of low surfactant concentrations on PEM membranes. The differing chemical composition of active layers in PEM membranes could lead to substantial differences compared to traditional polyamide membranes, resulting in higher selectivity in the separation of butyrate, propionate, and acetate ions.

In the latter part of my thesis, I presented various practical applications related to the brewing industry. These included the recycling of two brewery wastewaters and dealcoholization of beer. I examined the cleaning efficacy of non-ionic surfactants for PEM NF membranes fouled by spent grain press liquor. Different NF membranes were compared for the recycling of wastewater generated during yeast alkaline debittering. The suitability of PEM NF membranes for the dealcoholization of filtered and unfiltered beers was successfully demonstrated at a larger laboratory scale. Due to the dealcoholization process, membrane salt retention values increased without compromising permeability, indicating an enhancement in filtration properties.

## AUSZUG

Nanofiltration gewinnt zunehmend an Bedeutung im Bereich der Wasser- und Abwasserbehandlung. Unter verschiedenen Arten von Nanofiltrationsmembranen spielen Polyelektrolyt-Mehrschicht (PEM) Membrane eine bedeutende Rolle, die sich dynamisch in Bezug auf Membranentwicklung und Anwendungstechniken entwickeln. In meiner Doktorarbeit habe ich die grundlegenden Eigenschaften und potenziellen Anwendungen der PEM NF-Membrane in sechs verschiedenen Bereichen untersucht.

Die ersten drei Bereiche konzentrieren sich auf die grundlegenden Eigenschaften von PEM NF-Membranen, wie Salzurückhaltung, Ionenaustauschphänomene, den Einfluss von Tensiden und die Selektivität. Innerhalb von PEM NF-Membranen habe ich die Anomalien bei der Messung der Rückhaltung von zweiwertigen Ionen untersucht, die zu einer systematischen Unterschätzung der Leistungskennzahlen führen könnten. Ionenaustausch spielte auch bei der Empfindlichkeit gegenüber ionisch geladenen Tensiden eine entscheidende Rolle, aufgrund der hohen Affinität zwischen ionisierbaren Tensiden und Polyelektrolyten. Modelllösungen wurden verwendet, um den Einfluss niedriger Tensidkonzentrationen auf PEM-Membranen zu untersuchen. Die unterschiedliche chemische Zusammensetzung der aktiven Schichten in PEM-Membranen könnte im Vergleich zu traditionellen Polyamidmembranen zu erheblichen Unterschieden führen, was zu einer höheren Selektivität bei der Trennung von Butyrat-, Propionat- und Acetat-Ionen führt.

Im späteren Teil meiner Arbeit stellte ich verschiedene praktische Anwendungen im Zusammenhang mit der Brauindustrie vor. Dazu gehörten das Recycling von Brauabwässern und die Alkoholentfernung von Bier. Ich habe die Reinigungseffizienz nicht-ionischer Tenside für PEM NF-Membranen untersucht, die durch Treberpresswasser verschmutzt waren. Unterschiedliche NF-Membrane wurden für das Recycling von Abwasser, das während der alkalischen Entbitterung von Hefe entsteht, verglichen. Die Eignung von PEM NF-Membranen zur Alkoholentfernung von gefiltertem und ungefiltertem Bier wurde erfolgreich im größeren Labormaßstab demonstriert. Durch den Alkoholentfernungsprozess stiegen die Werte der Membran-Salzurückhaltung an, ohne die Permeabilität zu beeinträchtigen, was auf eine Verbesserung der Filtrationseigenschaften hindeutet.