



**Országos Tudományos Diákköri
Konferencia
2023**

**PES kapilláris membránmodul vizsgálata gradosztát reaktorban
történő alkalmazás céljából**

Készítette: Vonyó Viktória Zoltána

Témavezető: Hülberné Beyer Éva Anna

Mérnöki Kar, Biomérnöki, Membrántechnológiai és Energetikai Kutató
Intézet

A pályamunka lezárásának dátuma: 2022.11.04.

Tartalom

1. Bevezetés	2
2. Irodalmi áttekintés	2
2.1 Membrán Gradosztát Reaktor – MGR	2
2.2 Streptomyces coelicolor	5
2.3 Másodlagos anyagcsere termékek – Aktinorodin	8
2.4 Membránok bemutatása	9
3. Célkitűzés	11
4. Anyagok és módszerek	11
4.1 Alkalmazott vegyszerek	11
4.2 A vizsgálathoz felhasznált fermentlevek	12
4.3 Alkalmazott membrán modulok.....	13
4.4 Vizsgálati módszerek	13
4.5 Mérés leírások	15
4.5.2 Lapmembránnal történő dead-end szűrés 7,23 pH- jú fermentlével	15
4.5.3. X-Flow membránmodul vizsgálata 7,38 pH-jú fermentlével	16
4.5.4. X-Flow membránmodul vizsgálata 3,18 pH-jú fermentlével	17
4.5.5. X-Flow membránmodul vizsgálata 9,09 pH-jú fermentlével	17
4.5.6. X-Flow membránmodul vizsgálata 7,23 pH-jú fermentlével	18
4.5.7. ULTRADYN TM membránmodul vizsgálata 7,23 pH-jú fermentlével	18
5. Eredmények	19
5.1. Streptomyces coelicolor fermentáció – fermentlevek előállítása	19
5.2 Lapmembránnal történő dead-end szűrés 7,23 pH- jú fermentlével.....	19
5.3. X-Flow membránmodul vizsgálata 7,38 pH-jú fermentlével.....	21
5.4. X-Flow membránmodul vizsgálata 3,18 pH-jú fermentlével.....	22

5.5. X-Flow membránmodul vizsgálata 9,09 pH-jú fermentlével.....	24
5.6. X-Flow membránmodul vizsgálata 7,23 pH-jú fermentlével.....	25
5.7. ULTRADYN TM membránmodul vizsgálata 7,23 pH-jú fermentlével.....	27
6. Összefoglalás	28
7. Irodalom jegyzék	29

1. Bevezetés

A TDK dolgozatom alapjául a Membrán Gradosztát Reaktort (MGR) vettem, amely egy új innovatív módszer a biotechnológia területén. Az MGR ötlete már az 1980-as években felmerült, de csak 1999-ben szabadalmaztatták. Lényegében egy membrán bioreaktor, amellyel extracelluláris másodlagos metabolitok termelését teszi lehetővé.

Az MGR reaktor működéséhez a membrán teljes borítottsága nagyon fontos. Az egybefüggő mikroba biofilm belső rétegének, ami a kapillárisokhoz közeli részénél található, jobb hozzáférése van a kapillárisokban áramló friss tápoldathoz. A biofilm öregedő része, amely kevesebb tápoldathoz jut, szekunder metabolitok termelésébe kezd. Ezért fontos a megfelelő membránmodul alkalmazása az MGR-ban.

Munkám során különböző biomassza tartalmú mikroorganizmus szuszpenziókkal dolgoztam, mely fonalas baktériumot, illetve fonalas gomba micéliumot tartalmazott. Mivel mind a kettő mikroba típus fontos termelő szervezet, így a biotechnológiában jelentős szerepet látnak el. Kiemelt fontosságú a *Streptomyces* nemzetségből származó *Streptomyces coelicolor* baktérium. A másodlagos metabolitként termelt aktinorodin számos hasznos (pl.: antibakteriális, vírus ellenes, tumor ellenes) tulajdonsággal rendelkezik. A Biomérnöki, Membrántechnológiai és Energetikai Kutató Csoport, ahol munkámat végeztem ezzel a mikroba törzzsel szeretne további MGR vizsgálatokat végezni. Választásom emiatt esett a *S. coelicolor* baktériumra.

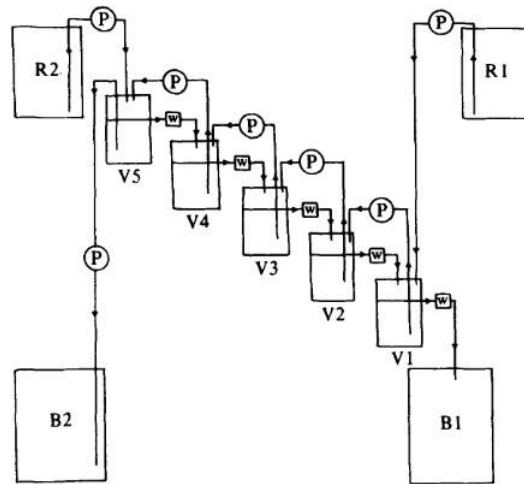
TDK munkám célja, hogy megvizsgáljam egy PES kapilláris ultraszűrő membrán alkalmasságát a membrán gradosztát reaktorhoz történő felhasználáshoz, illetve azt, hogy milyen mértékben vonható be a két mikroorganizmus által alkotott biofilmmel a membrán modul.

2. Irodalmi áttekintés

2.1 Membrán Gradosztát Reaktor – MGR

A membrán gradosztát reaktor egy új, számos felhasználási lehetőséget biztosító bioreaktor. A természetben megjelent ökoszisztémák leutánozása céljából tervezték meg, amelyben kialakul az oldott anyagok koncentráció gradiense [1]. Minden fontosabb technológia alapját a természeti rendszerek adták - Lovitt és Wimpenmy (1981) jegyezte le. Céljuk egy olyan több lépcsős laboratóriumi modell megalkotása volt, amely jól reprezentálta azon természetes

ökoszisztémákat, amelyben az oldottanyag-gradiensek fontosak. Az eredeti kétirányú összetett gradosztát reaktort egyszerűsítve egy kompakt szerkezetet terveztek melyben az egymással szomszédos tenyész-kamrák közötti diffúzió által jött létre a szubsztrát gradiens (1. ábra). Felhasznált mikroorganizmusaik közé tartozott a *Bacillus subtilis*, *Paracoccus denitrijicans* és a *Clostridium butyricum* [1].



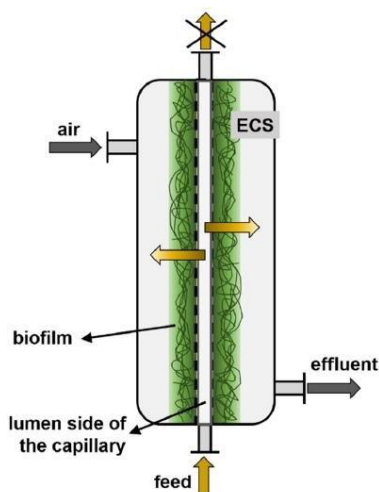
1. ábra Két irányú összetett gradosztátreaktor [1].

Ebben a rendszerben könnyen kitudott alakulni az ellentétes kémiai gradiens. Ennek a rekeszekből közvetlenül összekapcsolt reaktornak a használata költséges volt, alacsony kihozatalú és rossz minőségű terméket eredményezett, illetve nem reprezentálta a legtöbb mikrobiális biofilm természetes életkörülményeit, ami a technológia kidolgozásának alapjául szolgált. 1999-ben Leukes és munkatársai és más kutatók a *P. chrysosporium* mikroorganizmusra fejlesztettek ki egy új MGR reaktort, amin az előbb említett mikroorganizmus biofilmjét immobilizálták egy poliszulfon membrán felületére. 2005-ben Sheldon és Small ugyanezzel a mikrobával, de már kapilláris kerámia membránnal alkották meg az MGR rendszert. Magát az MGR kifejezést azokra a rendszerekre használják, ahol a biofilm egy szintetikus kapilláris ultraszűrő membránon, mint hordozó mátrixon rögzül [2].

A membrán kettős feladatot lát el, melybe beletartozik a fizikai szeparáció és a membrán felületén vagy azon belüli immobilizáció. Felépítését tekintve roppant egyszerű. A fermentor belsejében rögzített kapilláris membránok találhatók. A membránok belső ultraszűrő hártáival rendelkeznek, ezt egy hártya nélküli porózus mikroszűrő réteg veszi körbe. A biofilm kialakulását, megtapadását a nagy fajlagos felületű, ujjszerű üregek és mikrohüvelyek

biztosítják. A sejtek átjutását a belső ultraszűrő hártya akadályozza meg. A reaktor lumenében (reaktor kapillárisainak belső térrésze) áramoltatott szubsztrát radiális diffúzióval biztosítja a biofilm lumen közeli rétegének tápanyag ellátottságát. Az oxigén bevezetése a reaktor külső köpenyén történik. Bekerül az extrakapillaris térbe, bediffundál a biofilmbe és a membránon át a lumenbe jut. Ebből látszik, hogy a szubsztráthoz képest az oxigén gradiens ellentétes irányú [3].

Az ismert sejtviasszatartásos fermentációkhoz áll a legközelebb, amelynél olyan fizikai korlátok jelennek meg az elvételi oldalon, hogy nem képes átjutni a mikroorganizmus a permeátum oldalra, vagyis a szűrőrétegen maradnak. Ezzel ellentétben az MGR módszer esetén sejtömeg a membrán permeátum oldalán alkot egybefüggő biofilmet, így csak a reaktor egyik térrészeben lesz jelen (2.ábra). Az MGR szerkezetéből kifolyólag jól szimulálható a mikroorganizmusok természetes környezete. Egy szilárd hordozó felületén vannak rögzítve, amin keresztül történik a tápanyag felvétel és levegő (oxigén) veszi körbe őket. A tápanyagfelvétel lehetőségéből a biofilm egyes rétegei eltérő mennyiségű tápanyaghoz jutnak.



2. ábra Egyszálas MGR vázlatos ábrázolása ("ECS" az extrakapillaris tér rövidítése. A színesgradiens nyilak jelzik a membránon keresztüli tápanyag áramlás irányát) [3].

A membrántól távolodva csökken a jó szubsztrátum-ellátottságú biofilm. 3 zóna alakul ki, amik különbözőek morfológiailag és fiziológiailag. 1. zóna jellemzően elegendő tápanyaghoz jut, szaporodási és növekedési üteme megfelelő. 2. zóna növekedési stacionárius fázisban van végül a 3. zóna hanyatlási fázisban van. Az állandó tápanyag gradiens miatt tud szimultán kialakulni a másodlagos metabolit termelődés és a sejtmegújulás a biofilmben. A tápanyagszegény állapot miatt indul meg a másodlagos anyagcsere termékek képződése a biofilm 3. zónájában [3].

2.2 *Streptomyces coelicolor*

Munkám a során a *Streptomyces coelicolor* mikroorganizmussal dolgoztam. Mivel a Kutató Csoport, ahol a munkámat végeztem ezzel a mikroorganizmussal szeretne további MGR vizsgálatokat végezni, illetve több kutató csoport már folytatott kutatásokat vizsgálatokat vele választásom ezért esett erre a mikroba fajra.

A *Streptomyces* nemzetségbe tartozó fonalas talaj baktériumok [4] fontos szerepet látnak el a klinikai gyógyszerkészítmények előállításában. Ezeknek a gyógyszerkészítményeknek közel kétharmadát ők termelik másodlagos metabolitok formájában [5]. Számos helyen előfordul a földi ökoszisztémában, a legkülönbébb élőhelyeken: a talajban, vízben, komposztban és természetesen a növényekben is [5]. A talajbaktériumok közel 40%-át teszik ki. Különleges fonalas szerkezetüknek hála nagyban hozzájárulnak a talaj megfelelő szerkezetének kialakításához. Növelik a talaj szilárdságát, megvédik a szél és eső okozta eróziótól [5]. Az esőzések utáni talaj szagát, vagyis „eső illatot” az illékony anyagcsere termékeik okozzák. Több szerves anyagot képesek bontani, átalakítani, pl.: lebontják az adenint, kazeint, zselatint, és a keményítőt [5]. Illetve a szerves anyagok mineralizációjában (ásványosodás) is fontos szerepük van [4].

Először Waksan és Henric 1943-ban jegyezte le ennek a nemzetségnek a rendszertani besorolását. Több mint 500 fajt ismerték el ennek a nemzetségnek. Rendszertani besorolásuk: *Actionobacteria* törzs, *Actinobacteria* osztály *Actinomycetales* rend, *Streptomycetaceae* család, *Streptomyces* nemzetség. A család nemzetségei megkülönböztethetők fiziológiai és morfológiai szempontok alapján, amely lehet például a sejtfal kémiai összetétele (peptidoglikán típusa, zsírsavláncok százalékos aránya stb.) [5].

A faj jellemzői közé tartozik, hogy kemoorganotrófok vagyis a megfelelő biokémiai folyamataikhoz szükségük van szerves szénforrásra, szervetlen és szerves anyagokra, nitrogénre, ásványi sókra, de nem igényelnek vitaminokat és növekedési faktorokat. Nem mozgó, gram-pozitív baktériumok, anyagcseréjükhöz szükséges a megfelelő oxigénellátottság, ebből adódik, hogy aerobok. A megfelelő növekedésükhöz szükséges hőmérsékleti és pH érték 10-37 °C és 6,5-8,0 pH tartomány. A szárazsággal szemben tűrést mutatnak, ami annyit tesz, hogy kevesebb nedvességet igényelnek, de roppant érzékenyek a vizesedésre. A talajban lévő eloszlásuk függ a tápanyag mennyiségétől, pH-tól, oxigénellátottságtól, hőmérséklettől,

nedvességtől. Ezeknek a paramétereknek az ismeretében lehet beállítani a fermentáció optimális körülményeit.

A fenti paraméterek befolyásolják morfológiai jellemzőiket is. A gombákhoz hasonló morfológiai felépítése van és élőhelyeiket tekintve is hasonlóak, de nem gombák, prokarióta szervezetek, vagyis nincsen valódi sejtmagjuk, illetve mitokondriummal sem rendelkeznek. A mikroba spórái a mikroorganizmus fonalainak töredezésével alakulnak ki. Ezeknek az alakja lehet egyenes, hullámos vagy spirális. A lassan növekedő telepek felülete sima, majd a később kialakuló légmicéliumok álló szövedékeket alakítanak ki [5].

További különlegessége a roppant összetett fejlődési ciklusa, amely 4 fő fázisból áll: I. kezdeti megosztódási fázis; II. elsődleges micélium; III. másodlagos micélium (beleértve a légmicélium); IV. spóra képződés [5]. Fejlődési ciklusában két differenciált micélium struktúra írható le egy vegetatív, másnéven szubsztrát micélium és egy lég- (reproduktív) micélium (3. ábra) [6].

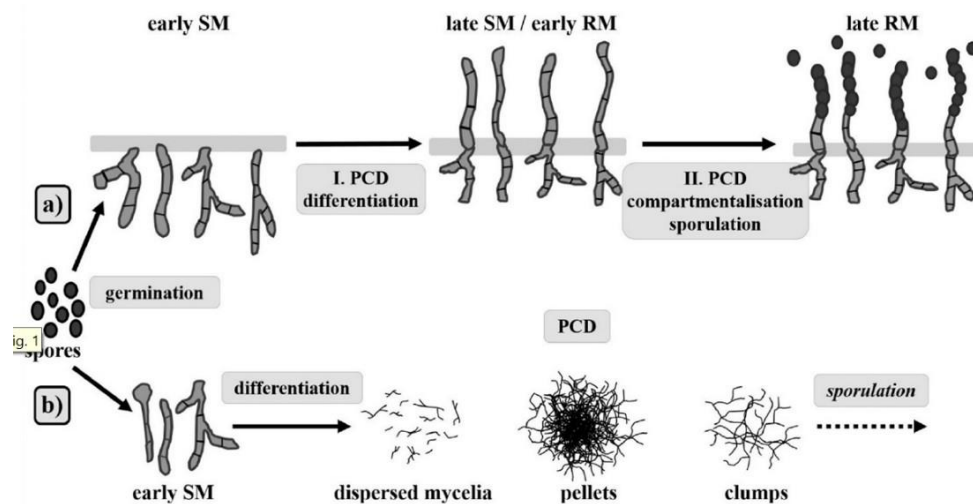


3. ábra *Streptomyces coelicolor* tenyészet.

Az életciklusa a spóra táptalajon való megtelepedésével indul meg. A spóra kilép a nyugalmi állapotból, csírázik, majd megindul a csíratubulusok képződése. Nincs bináris osztódás, a csíratubulusok a végeken nőnek tovább. A fonal növekedésével, hosszabbodásával elágazások jönnek létre, amely egy egybefüggő hálózatot alakít ki a táptalaj felületén. Nem csak a táptalaj felületét, de annak mélyebb rétegeit is behálózza. Az így kialakult hálózatot kialakító szövedéket hívják szubsztrát micéliumnak [5]. A növekedés előre haladtával programozott sejthalál következik be, amelynek következménye, hogy az életben maradt sejtek több magvú

micéliumokká differenciálódnak, ezekből alakulnak ki a léghifák [6]. A differenciálódás leállta után a léghifák sejtosztódáson mennek keresztül. Monoploid sejtek alakulnak ki, ez eredményezi a spórákat [5]. A spórák hidrofób spóra láncokba rendeződnek. Megfigyelhető volt, hogy a tagolt (a hifában található harántfal) fiatal micéliumok egy mintázat szerint programozott sejthalállal (PCD) élő és nem élő szakaszokra fragmentálódnak. A megmaradt élő micéliumok (melyeket az agaron szabályos körként láthatunk) tovább növekednek attól függően, hogy milyen sűrű volt az inokulum. Sűrű inokulum esetén a körök 0,5 cm átmérőjűek is lehetnek erős hígítás esetén 0,9 mm kezdeti átmérő is lehet [6].

A fent említett inokulum sűrűség a fermentáció beoltásánál játszik fontos szerepet. A *Streptomyces coelicolor*-nál más differenciálódási folyamat figyelhető meg a fejlődése során folyadék (szubmerz) vagy szilárd (felszíni) tenyészetben (4.ábra). A legszembetűnőbb különbségek, hogy folyadék kultúrák esetén kimarad a második halálozási kör és a sporuláció [6]. A folyadék kultúra alkalmazása kedvezőbb a mikroorganizmus membránra való immobilizálása céljából. Folyadékban 3 fajta morfológia alakulhat ki: 1. szétszórt micélium (többnyire egysejtűként viselkedik); 2. laza micélium hálózatok (gyakori nevük szőnyeg v. csomók); 3. pelleték (sűrű micélium struktúrák tápanyag hiányos központtal). A pelleték esetén figyelhető meg a fent említett programozott sejthalál [3]. A tápanyag hiányos közeg az egyik olyan stressz faktor (oxigén hiány vagy más mikroorganizmus), amely előidézi a másodlagos anyagcsere termékek termelődését.



4. ábra A *Streptomyces* általános életciklusa szilárd (a) és folyékony (b) kultúrákban. ("SM" és "RM" a szubsztrát micélium rövidítései, illetve a felső panel vízszintes szürke vonala a szilárd felületet jelöli. A spórákat fekete körök mutatják)[3].

2.3 Másodlagos anyagcsere termékek – Aktinorodin

A természetben fellelhető mikroorganizmusok képesek elsődleges és másodlagos metabolitok előállítására. Elsődleges metabolitnak tekinthetők azok a szerves vegyületek, amelyek közvetlenül részt vesznek a létforma normális növekedésében, fejlődésében és szaporodásában. Ezzel szemben a másodlagos metabolitok az említett folyamatokban közvetlenül nem vesznek részt. A másodlagos metabolitok a következőkben különböznek az elsődleges anyagcsere termékektől [7]:

- I. nélkülözhetők
- II. termelésük a növekedési körülményektől függ, mint például a táptalaj típusa
- III. nem szükségesek a növekedéshez, sokszor egymással szorosan összefüggő molekulák csoportjaiként termelődnek
- IV. gyakran túltermelődhetnek

Mint már említettem, a *Streptomyces* talajbaktériumok számos (közel kétharmada) klinikailag fontos antibiotikum termelésért felelős. Ezek a molekulák főleg az eukarióta rendszerekben fejtik ki hatásukat, mint például: a sejtdifferenciálódás-, apoptózis induktorai és gátlói, illetve fehérje-C-kináz inhibitorokként tumorelleses hatásúak lehetnek [6]

A *Streptomyces coelicolor* egyik legfontosabb másodlagos metabolitja a pH érzékeny (vörös/kék) aktinorodin nevű szerves antibiotikum. Vizsgálatok során mikor a mikroorganizmust tápanyag-limitációnak vagy alacsonyabb pH-jú közegnek tették ki (stressz faktorok) megindult a vörös/kék színű aktinorodin termelés. 4,5-5,5 pH-n intracelluláris vörös antibiotikum termelődött. Azonban 6,0 és 7,5-ös pH tartományban megjelent a kék aktinorodin is, ami viszont intracellulárisan és extracellulárisan is termelődött. Utóbbi a folyamatos fermentáció felhasználásában előnyösebb, hiszen nem kell a sejtek roncsolását elvégezni az antibiotikum kinyerése céljából. A két különböző színű antibiotikum vizsgálata során kiderült, hogy a kék színű az aktinorodin laktonszármazéka amit γ -aktinorodinnak neveztek el. Kimutatták, hogy a végső pH érték szabja meg, hogy melyik fajta aktinorodin termelődik nagyobb mennyiségben. A két vegyület különbségei: az aktinorodin 5-ös pH értéknél intracellulárisan nagyobb mértékben halmozódik fel, ezzel szemben a γ -aktinorodin 7,0 pH értéken mind intra-, mind extracellulárisan termelődik. Megállapítható, hogy a semleges pH tartományban a *Streptomyces coelicolor* fő másodlagos anyagcsere terméke az aktinorodin és γ -aktinorodin [8].

A PES membránok vizsgálata során nem volt lényeges, hogy melyik fajta másodlagos metabolit volt túlsúlyban a fermentlében, hanem a fermentlében lévő laza micélium hálózatokra volt szükség, azaz hogy legyen benne megfelelő mennyiségű sejtömeg (ami a száraz sejtömeg koncentrációval jellemezhető). Az extracelluláris másodlagos anyagcseretermék a borítottság elérésénél nem lényegi kérdés. A pH már erősebb befolyásoló tényező, mivel a sejtfalak nagy ionos csoport száma miatt jelentősen befolyásolja a sejtek tapadó képességét egymáshoz és a membránhoz is.

2.4 Membránok bemutatása

A biotechnológiai iparban roppant elterjedt membránok alkalmazása különböző célokra. Főleg szeparációs célra alkalmazták, vagyis a gyártási technológia során képződött keveréket oldatot választottak szét a termék kinyerése céljából. Már több olyan membrános eljárási technika van, ami más területeken is felhasználható. Egyik ilyen terület a munkám alapját képező membrán gradosztát reaktor. Fő eleme a reaktorban található membrán. A kitűzött cél, hogy erre rögzíteni lehessen a *Streptomyces coelicolor* mikroorganizmust [9].

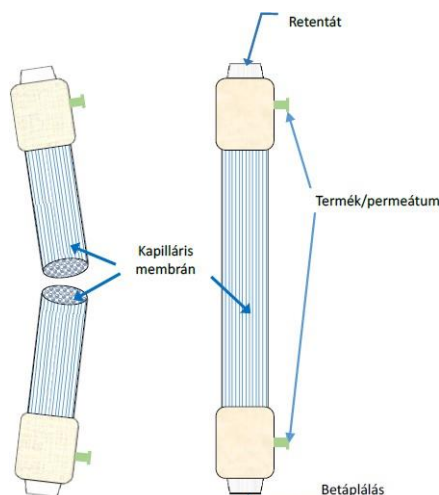
Membrános műveletek használati előnyei közé tartozik többek között, hogy a technológia folyamatossá tehető, kicsi az energiaigénye, könnyen lehet kombinálni más műveletekkel, illetve a méretnövelés is egyszerű. Sajnos a fellépő hátrányokkal is meg kell birkózni, melyek a membrán elhasználódása (rövid membrán élettartam), pici fluxus és szelektivitás, illetve az eltömődés (fouling), ami viszont az MGR eljárásnál előnyt jelent. Magát a membránt lehet úgy definiálni, hogy két fázis közötti permszelektív gát. Egyszerre permeábilis és szelektív, vagyis csak bizonyos komponensekre nézve átjárható [9].

Bármilyen membránról is van szó, annak hatékonyságát vagy teljesítményét a szelektivitás és áteresztő képesség határozza meg. Az áteresztő képesség vagy más néven fluxus meghatározható, mint az a térfogat, amelyet a membrán egységnyi felülete egységnyi idő alatt átereszt. Szelektivitást a retenciával lehet kifejezni, vagy a szeparációs faktoral. A már említett fluxus szinte minden membrános műveletnél megjelenik mivel anyagátadás történik ezt pedig a fluxussal [J] lehet jellemezni.

A membrános művelet működését tekintve lehet szakaszos, amit dead-end-nek hívnak vagy kereszt áramlásos (cross-flow). Előbbinél szűrőlepleny alakul ki, mivel a betáplálás áramlása merőleges a szűrő felületre. Az eltömődés oka maga a szűrőlepleny, amely oly mértékben eltömheti a szűrőfelület pórusait, hogy le kell állítani a műveletet, és tisztítani kell a szűrő felületét. A szűrőlepleny vastagságának növekedésével arányosan csökken a fluxus [9].

Kereszt áramú eljárásnál a betáp áram párhuzamos lesz a membránfelülettel így a folyadék áram mozgása miatt egy „mosási” folyamat zajlik, aminek következtében nem alakul ki szűrőlepleny. Membrán modulok használatakor (kapilláris-, csőmodulok) a betáp áramot két féle módon lehet bekötni, vagy a köpenytéren keresztül vagy a kapillárisok oldaláról. Abban az esetben, ha a köpenytér csomkján vezetjük be az áramot a permeátum a kapilláris oldalon távozik míg fordított esetben pedig a permeátum a köpenyoldaltól vehető el [9].

Vizsgálataim során kettő kapilláris membránmodult használtam melyeknek egyik jellemzője az aszimmetrikus membrán szerkezet. Ez annyit jelent, hogy a pórusok mérete növekszik felülről lefelé haladva. Ez biztosítja a jobb szelektivitást és fluxust. Továbbá fedőréteggel úgy nevezett bőrrel van ellátva. Ez a típusú membrán felépítés további lehetőségeket nyitott a membrán felhasználás területén, mivel az aszimmetrikus membránok támasztó rétegére (50 -150 μm) egy nagyon vékony szelektív fedő (bőr) réteget visznek fel, ami kb. 0,1 - 0,5 μm vastagságú [9]. A modulban nagyszámú kötegekben helyezkednek el a kapilláris membránok (5. ábra).



5. ábra Kapilláris modulok polimer membránból[9].

Kapilláris átmérők sokszor 0,5-1,5 mm, ezeket a modulba végiekénél műgyantával rögzítik. A modulba helyezett kapillárisok számával és azoknak méretével lehet befolyásolni az adott modul minőségét, teljesítményét. A nagyszámú kapillárist tartalmazó membránmodulok

növelik a térfogategységre jutó effektív membránfelületet, ami ennél a típusú membránmodulnál a legnagyobb ($600 - 1200 \text{ m}^2/\text{m}^3$). A modul hátrányai közé tartozik, hogy borzasztó nehéz vagy nem megvalósítható a szétszerelése, ebből következik, hogy egy hibás kapilláris membrán esetén az egész modult javítani kell. Továbbá roppant érzékenyek a koncentráció-polarizációra és az eltömődésre (előbbi számunkra előnyt jelent) [9].

A két felhasznált membrán közös jellemzője, hogy ultraszűrő membránok, melyeken keresztül a hajtó erő a nyomás gradiens. Az ilyen fajta membránok pórusmérete 1-500 nm méter között van. Makromolekulák és kolloid szemcsék leválasztására alkalmasak. A részecskék visszatartását nagyban befolyásolja az anyagok mérete és azok alakja. Ez az anyagtranszport egyenesen arányos az alkalmazott nyomással. Az ultraszűrő membránok MGR-ban történő alkalmazásának fő előnye, hogy velük megakadályozható a kapillárisok belsejében áramló friss tápoldat befertőződése a biofilmről átjutó mikroorganizmusokkal. Alkalmazásukkal megoldott az a fontos funkció is, hogy a tápoldat komponensei a belső, aktívan növekedő biofilm réteghez átjussanak [9].

3. Célkitűzés

Vizsgálataim során két különböző sejtszáraz anyag tartalommal és összetétellel rendelkező fermentlevet vizsgáltam négy eltérő pH értéken és 2 kapilláris membrán modulon. Az így kapott fermentlevek ellenállásait (α) összehasonlítva következtetések vonhatók le, az MGR számára alkalmas membránmodulok tulajdonságaira nézve.

4. Anyagok és módszerek

4.1 Alkalmazott vegyszerek

Vegyszer neve	Gyártó	Tisztaság
Nátrium-hidroxid	VWR International	Ph.Eur./Bp 99,9%
Kénsav	VWR	Anal. Reag.
Maláta	VWR	Mikrobiológiai célra
Pepton	REANAL	Mikrobiológiai célra

Szacharóz	VWR	Mikrobiológiai célra
-----------	-----	----------------------

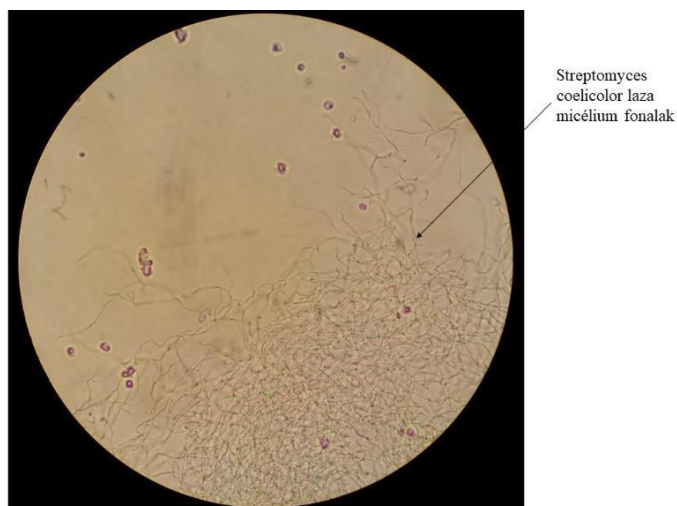
4.2 A vizsgálathoz felhasznált fermentlevek

I. fermentlé: Színe világos barna, heterogén rendszer volt mivel a lé zavaros, nem volt áttetsző víz tiszta. Szaga jellegzetes kissé bűdös. Nem csak a cél mikroorganizmust tartalmazta, hanem a fermentáció során fonalas gombával fertőződött be, ami a 6. ábrán látható is látható. A száraz sejttömege 7,56 g/L, viszkozitása 1 cP.



6. ábra I. fermentlé 1000x nagyítású mikroszkópos felvétele

II. fermentlé: Színe sötét piros/vörös, heterogén rendszer volt, mivel szabad szemmel is láthatóak voltak a nagyobb laza fonalas micélium szigetecskék. Szaga jellegzetes kissé föld szagú. Ez a fermentlé teljesen tiszta volt, nem történt befertőződés (7. ábra). Száraz sejttömeg tartalma 3,5 g/L, lényegesebb kevesebb mint az előzőé. Ez azzal magyarázható, hogy itt nem volt fertőző mikroorganizmus, ami növelte volna. Viszkozitása 1 cP.



7. ábra *Streptomyces coelicolor* 1000x nagyítású mikroszkópos felvétele

4.3 Alkalmazott membrán modulok

1.táblázat Alkalmazott membrán modulok specifikációi.

Specifikációk	X-FLOW RX300 1.5UFC	ULTRADYN™ FB02-FC-FUY03A1
Membrán összetétel	poliéter-szulfon (PES)	poliakrilonitril (PAN)
Membrán nedvesíthetősége	hidrofil	hidrofil
Vágási molekula méret (kDa)	150-200	30
Membrán felület (m ²)	0,04	0,2
Kapilláris membrán átmérő (mm)	1,5	1,0
Max. rendszer nyomás (bar)	20°C-on 8	20°C-on 4
Max. transzmembrán nyomás (bar)	(0-30 °C-on) 3	(20 °C-on) 3
Max. hőmérséklet (°C)	60	45

4.4 Vizsgálati módszerek

Transzmembrán nyomás: A membrán két oldala között létre jövő nyomás

$$TRM = p_0 - p$$

ahol p_0 a légköri nyomás (bar), p pedig (jelen esetben) a kapilláris oldali nyomás, ami mérhető.

Fluxus: Áteresztő képesség vagy permeációs sebesség. Az a térfogat, amelyet a membrán egységnyi felülete egységnyi idő alatt át ereszt. A fluxus sok esetben arányos a transzport hajtó erejével:

$$J = -AdX/dx$$

ahol A az adott jelenségtől függő állandó, dX/dx pedig a gradiens (X gradiense az x koordináta mentén). A hajtóerő lehet koncentráció-, nyomás-, elektromos potenciál-, vagy hőmérséklet gradiens [9].

Szűrési sebesség: szakaszos szűrés esetén a következőképpen írható fel:

$$v = \frac{1}{A} \cdot \frac{dV}{dt}$$

ahol V a szűrlet térfogat, A a szűrőfelület, t pedig az idő.

Összenyomhatatlan szűrőréteg esetén szűrési sebesség megadása:

$$\frac{1}{A} \cdot \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta p}{\mu \cdot [\alpha \cdot \rho_0 \left(\frac{A}{V}\right) + R_m]}$$

Abban az esetben, ha még tiszta a szűrő, vagyis nem haladt rajta át semmi, akkor a $t_0=0$, $v_0=0$ kezdeti feltételekkel integrálható:

$$\frac{At}{V} = K \left[\frac{V}{A} \right] + B$$

(At/V) mennyiséget ábrázolva (V/A) függvényében egy lineáris kapcsolatot kapunk. A K meredekség a nyomáscsökkenés (Δp) és a szűrőlepleny tulajdonságainak függvénye. A tengely metszett nem függ a szűrő anyagtól viszont függ az „üres” szűrő jellemzőitől [10]. Abban az esetben, ha az így kapott egyenes az origó előtt metszi a tengelyt akkor a szűrőlepleny ellenállása nem elhanyagolható a szűrő felületéhez képest. Viszont, ha az egyenes az origó után metszi a tengelyt a szűrőfelület ellenállása már nem elhanyagolható a szűrőlepleny ellenálláshoz képest.

Szűrőlepleny fajlagos ellenállása:

$$\alpha = \left(\frac{A}{V} \right)^2 \cdot \frac{2 \cdot \Delta p \cdot t}{\mu \cdot \rho_0}$$

ahol A (cm^2) a szűrő felület, V (cm^3) a szűrlet térfogata, t (sec) idő, μ a (cP) szűrendő anyag viszkozitása, ρ_0 (g/L) a szűrendő szilárd anyag tartalma, Δp nyomás esés (bar) [10].

4.5 Mérés leírások

4.5.1. *Streptomyces coelicolor* fermentáció – fermentlevek előállítása

A mérésekhez szükséges fermentleveket az alábbi módon készítettem el. A fermentációshoz szükséges tápoldat összetétele a következő volt:

- Maláta 23 g/L
- Pepton 10 g/L
- Szacharóz 80 g/L

A 1,8 L térfogatra kiszámolt száraz anyagokat táramérlegen kimértem bioreaktorba. Az ehhez szükséges víz mennyiséget hozzáadtam a bioreaktor tartalmához. Összeállítottam a készüléket, felszereltem a fermentáció nyomon követéséhez szükséges szondákat melyek a következők voltak: pH-; oxigén mérő szonda, habzásgátló szonda, minta vevő egység. Az összeállított berendezést a folyékony tápoldattal együtt 121 °C-on 35 percig sterilizáltam. Az elkészített *Streptomyces coelicolor* inokulommal steril körülmények között (steril fülke alatt) beoltottam a bioreaktorban lévő tápoldatot. Ezt követően elindítottam a fermentációt. A folyamat nyomon követésére a fermentáció ideje alatt mintákat vettem és azok mikroszkópos vizsgálatával ellenőriztem a fermentlében a mikrobamorfológiáját. Mind a két fermentlevet a fenti eljárások alapján készítettem el, ugyan olyan körülmények között.

4.5.2 Lapmembránnal történő dead-end szűrés 7,23 pH- jú fermentlével

A méréshez a 7,23-as pH-jú, 3,5 g/L száraz anyag tartalmú tiszta fermentlevet használtam. A szűrőlepeny fajlagos ellenállásának meghatározásához sima szűrőpapírral végeztem dead-end szűrést. A vákuum szűrő berendezést a következő képpen állítottam össze. (8.ábra)



8. ábra Dead-end szűrőberendezés

Egy szívó palack tetejére gumikónusz segítségével ráhelyeztem az üvegből készült szűrő feltétet és az 5 cm átmérőjű kerek szűrőpapírt. Ezután egy skálával ellátott alul lyukas üveg hengert egy fém csipesszel fogtam össze az üveg feltéttel. Vákuumszivattyút hozzá kötöttem a rendszerhez majd 250 mL fermentlével feltöltöttem a berendezést és végül a vákuumszivattyú bekapcsolásával elindítottam a mérést. A mérés kezdetén még gyorsan zajlott a szűrés, majd az idő előre haladtával, illetve ahogy a szűrőfelület pórusai fokozatosan eltömődtek lassulni kezdett. A skáláról leolvasott fermentlé fogyásokat először percenként majd 5 percenként és végül 10 percenként jegyeztem le. A mérés végéig állandó nyomás, vagyis állandó vákuumot állítottam be a vákuumszivattyú segítségével. A szűrő modul szétszedése után megnéztük, hogy milyen mértékben tömődött el a szűrőfelület, illetve milyen lett a kialakult szűrőlepeny.

4.5.3. X-Flow membránmodul vizsgálata 7,38 pH-jú fermentlével

A vizsgálat elvégzéséhez összeállítottam a mérőberendezést, amely a következőkből állt: választó tölcser a folyadék adagolásához, membrán modul, nyomás mérő műszer, perisztaltikus pumpa, a pumpához tartozó cső és egy táramérleg. A vizsgálat megkezdése előtt desztillált vízzel megállapítottam a vizsgálatához szükséges és a membrán ellenállásához tartozó maximális áramlási sebességet. A választó tölcser desztillált vízzel feltöltöttem, a modul köpeny oldali alsó csonkján keresztül feltöltöttem folyadékkal a köpeny teret, majd a köpeny oldali felső csonkot elzártam. A nyomás mérő műszert a modul felső csonkján kötöttem a rendszerre, így mérhető a kapilláris oldali nyomás változása a mérés folyamán. Az modul alsó csonkját összekötöttem a perisztaltikus pumpa csövével, amit a pumpába vezettem. A cső egy táramérlegre helyezett edénybe (főzőpohár vagy mérő edény) vezette a permeátumot.

A tölcser teflon csapja mérés végéig nyitva volt, hogy az adagolás folyamatos legyen. 2 perces időközönként változtattam az áramlási sebességet a pumpán, mindig 1,00 mL/min egységgel. Lejegyeztem a kezdeti tömeget (m_0) és a 2 perc lejárta után leírtam az új tömeget (m_1) illetve az abban a pillanatban leolvasott nyomás értéket. Az új időpillanathoz tartozó kezdeti tömegérték az előző időpillanat új tömegértéke volt. A vizsgálat elvégzése után, az adatok kiértékeléséből megállapítottam, hogy a membrán vizsgálatához szükséges áramlási sebesség 10,00 mL/min

Végül leeresztettem a membrán modulban lévő vizet és a választó tölcserbe már a méréshez szánt 7,38-as pH-jú, 7,56 g/L száraz anyag tartalmú, gomba fonalakkal fertőzött fermentlevet töltöttem. A mérés hasonló módon történt, mint a tiszta vízzel végzett mérés. Állandó áramlási sebesség mellett, 5 perces időközönként jegyeztem le a tömegeket és a nyomásváltozásokat. A mérést 75 percnél fejeztem be, mivel időközben elfogyott a fermentlé.

4.5.4. X-Flow membránmodul vizsgálata 3,18 pH-jú fermentlével

Savas tartományban való méréshez az eredetileg 7,38-as pH-jú I. fermentléből 550 mL-t 19%-os kénsav oldattal 3,18-as pH-ra savanyítottam. Mágneses keverővel folyamatos kevertetés mellett automata pipettával adagoltam a 19%-os kénsavat, pH ellenőrzésre üveg pH mérő elektródot használtam. A méréshez használt berendezést desztillált vízzel átmostam, majd újra összeraktam. A perisztaltikus pumpa áramlási sebességét 10 mL/min-re állítottam. 550 mL beállított pH-jú fermentlével feltöltöttem a választó tölcser, majd elindítottam a pumpát. Ebben az esetben is 5 percenként jegyeztem le a nyomás változásokat és a tömeg változásokat. A mérést a fermentlé teljes felhasználásig végeztem, ami 45 percig tartott.

4.5.5. X-Flow membránmodul vizsgálata 9,09 pH-jú fermentlével

Ahhoz, hogy lúgos tartományban is elvégezhessem a mérést szintén az I. fermentlének 550 mL-ét 20%-os NaOH oldattal 9,09-es pH-júra állítottam. Ebben az esetben is mágneses keverőt, automata pipettát és pH mérő készüléket használtam. Az eddigiekhez hasonlóan, a kitisztított mérőberendezést összeállítottam, beállítottam a perisztaltikus pumpa 10,00 mL/min áramlási sebességét, és ugyanolyan lépésekben elvégeztem a mérést. Ezt a mérést 30 perc után le kellett állítani, mivel rendkívül lassan zajlott a szűrés.

4.5.6. X-Flow membránmodul vizsgálata 7,23 pH-jú fermentlével

A méréshez a 7,23-as pH-jú, 3,5 g/L száraz anyag tartalmú, tiszta, vagyis fertőzésmentes fermentléből 800 mL-t használtam fel a választó tölcser feltöltéséhez. Megismételve az eddigi műveleteket elvégeztem a mérést. Ugyanazzal a mérő berendezéssel ugyanarra az áramlási sebességre beállított perisztaltikus pumpával hajtottam végre a mérést. Szintén 5 percenként jegyeztem le a tömeg és nyomás változásokat.

4.5.7. ULTRADYNTM membránmodul vizsgálata 7,23 pH-jú fermentlével

A méréshez a 7,23-as pH-jú, 3,5 g/L száraz anyag tartalmú, tiszta, vagyis fertőzés mentes fermentlevet használtam. A membrán modult először átmostam dead-end szűréssel 0,2 mikron pórusméretű membránlapon átszűrt desztillált vízzel 10,00 mL/min áramlási sebességgel. Mivel ennek a modulnak eleve nagyobb az ellenállása, biztosítani kellett, hogy semmi féle apró részecske, szennyező anyag ne tömje el a membrán pórusait.

Mivel már kevés fermentlé állt rendelkezésemre a mérés elvégzéséhez így a 800 mL helyett 650 mL fermentlevet használtam fel. A mérés elején kiderült, hogy perisztaltikus pumpával nem hozható létre elegendő nyomás, hogy a fermentlé szűrődése meginduljon a kapilláris membránon, ezért helyette vákuumszivattyút használtam.

A berendezés összeállítása hasonló volt az előzőekhez. Ugyan úgy történt a membrán köpeny oldali részének feltöltése, a nyomásmérő bekötése és a felső köpeny oldali csonk elzárása. A berendezés összeállítása hasonló volt az előzőekhez. Ugyanúgy történt a membrán köpeny oldali részének feltöltése, a nyomásmérő bekötése, és a felső köpeny oldali csonk elzárása. Annyi eltérés történt, hogy az alsó kapilláris oldali csonkot hozzákötöttem a vákuumszivattyúhoz egy szívópalackkal együtt, amelyben a szűrletet gyűjtöttem. Mivel nem tudtam a mérlegre helyezni a szívópalackot, így a szűrés sebességét figyelembe véve mértem le a palack tartalmát táramérlegen. Ilyenkor leállítottam a vákuumszivattyút levettem a palackot a berendezésről majd a tömeg mérés után újra visszakötöttem és folytattam a mérést. Mivel a szűrés gyorsasága az idő előre haladtával fokozatosan lassult, így először 2, 3, 5, 10 majd 30 percenként végeztem el a tömegmérést.

5. Eredmények

5.1. *Streptomyces coelicolor* fermentáció – fermentlevek előállítása

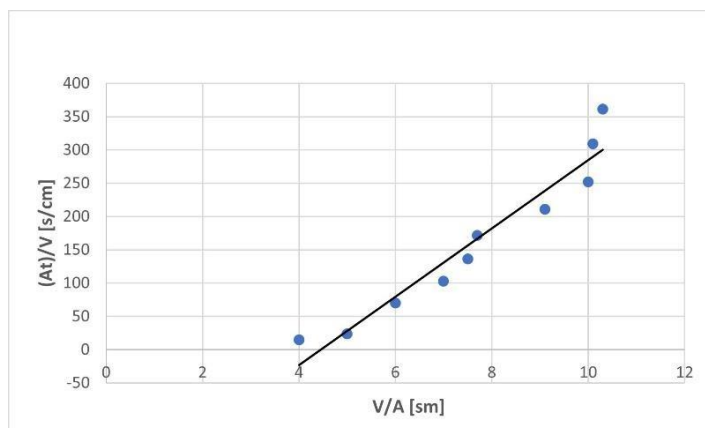
A következő táblázatban összegeztem a két fermentlé tulajdonságait a fermentáció végén, amit a 4.2-es fejezetben már leírtam.

2. táblázat

	I. Fermentlé	II. Fermentlé
Szín	Narancs sárga / világos barna	Sötét piros/ vörös
Szag	Szaga jellegzetes, kissé bűdös szúrós szagú	Szaga jellegzetes kissé föld szagú
Benne található mikroorganizmus	<i>Streptomyces coelicolor</i> , fonalas gomba	<i>Streptomyces coelicolor</i>
Homogenitása	Heterogén rendszer, nem áttetsző	Heterogén rendszer, nem áttetsző
Viszkozitás (cP)	1	1
Száraz biomassza tartalom (g/L)	7,56	3,5

5.2 Lapmembránnal történő dead-end szűrés 7,23 pH- jú fermentlével

Mint azt már említettem a 4.5.2. fejezetnél a szűrődés az idő előre haladtával fokozatosan lassult, ahogy a szűrőfelület pórusai eltömődnek. A mérési eredményekből kiszámoltam az (At)/V értéket, amit ábrázoltam a V/A függvényében (9.ábra).



9. ábra $(At)/V$ ábrázolása a V/A függvényében.

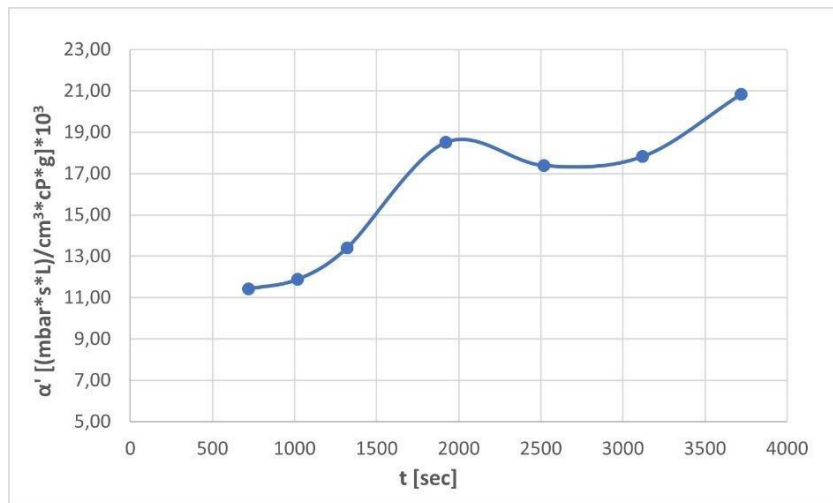
A diagramról látható, hogy a tengelymetszet az origó előtt található. Ebből következik, hogy a szűrő lepeny ellenállása nagy mértékben befolyásolta a szűrés hatékonyságát, míg a szűrőfelület ellenállása szinte elhanyagolható volt. A 10. ábrán a majdnem fél centi vastag szűrő lepeny. A dead-end összeállítás szűrési teljesítményét hátrányosan befolyásolta a gravitációs erő hatására kialakuló ülepedés is.



10. ábra Dead-end szűrés után vissza maradó szűrőlepeny

Végül meghatároztam a mérési pontokhoz tartozó szűrő lepeny és a szűrőfelület együttes fajlagos ellenállást, annak számtani közepét vettem melynek az értéke $15,899 \cdot 10^3 \frac{\text{mbar} \cdot \text{s} \cdot \text{L}}{\text{cm}^3 \cdot \text{cP} \cdot \text{g}}$ lett.

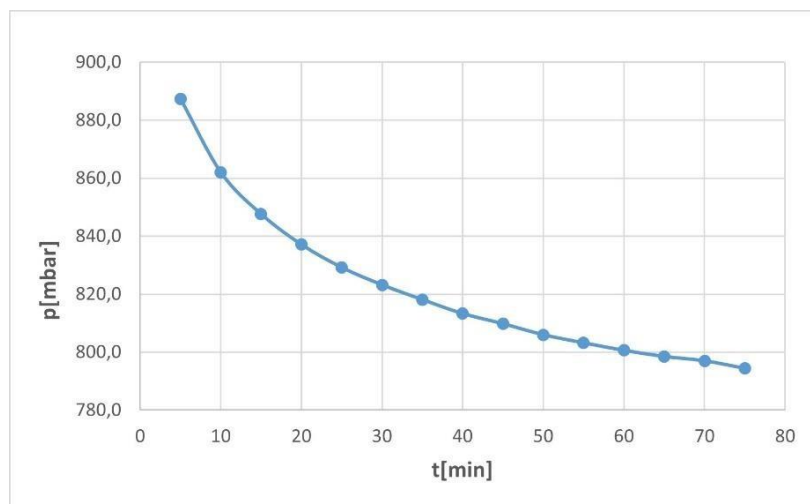
Az idő előre haladtával viszonylag lineárisan növekedett (11. ábra). Ez az érték lesz a referencia érték a további mérések értékelése folyamán.



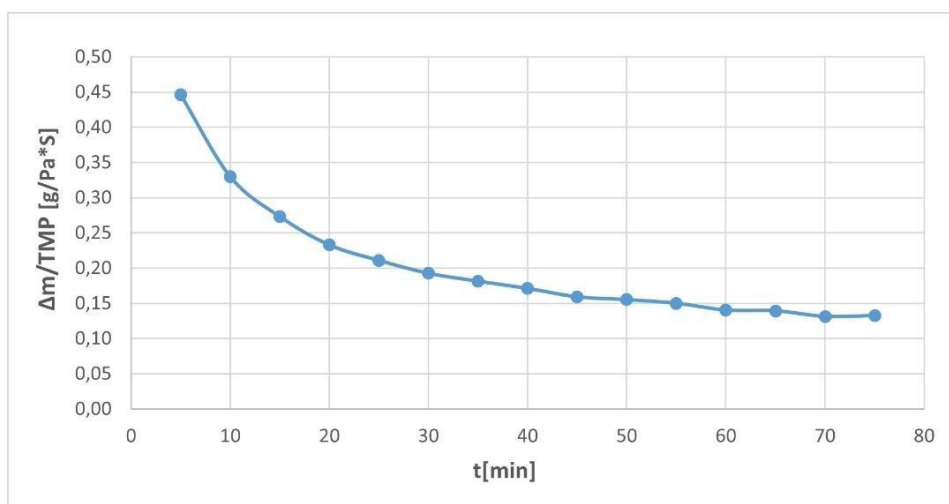
11. ábra Szűrőlepeny és membrán együttes ellen állásának ábrázolása az idő függvényében

5.3. X-Flow membránmodul vizsgálata 7,38 pH-jú fermentlével

A főzőpohárba érkező szűrlet kissé fodrozódó és aranyárga színű, ám teljesen áttetsző volt, ami mutatja a membrán kitűnő szűrését. Szemmel látható volt, hogy a membrán betáplálási oldalán a fermentlé szilárd komponensei (laza micéliumok, gomba fonalak) leülepedtek, de képeztek bevonatot a mérés során a membrán felületére. A nyomás (12. ábra) és a fluxus a (13. ábra) az idő előre haladtával fokozatosan csökkent.

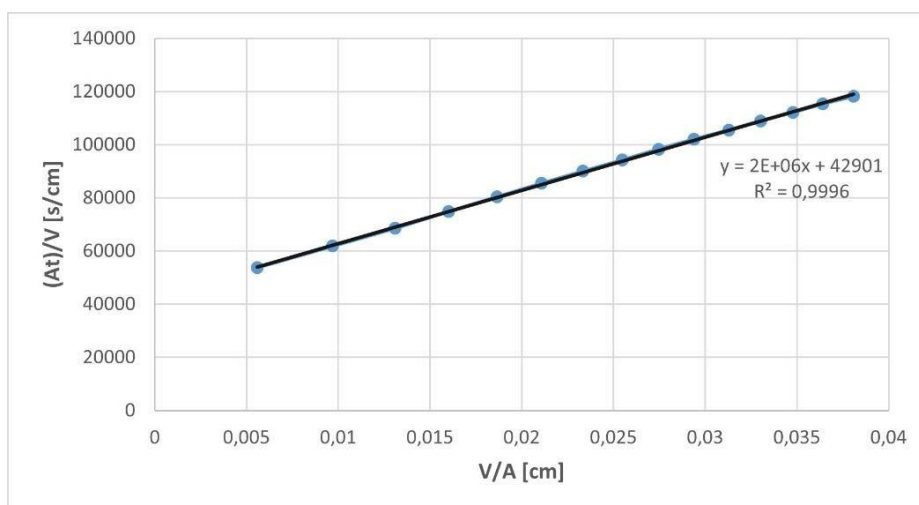


12. ábra Nyomás változás ábrázolása az idő függvényében



13. ábra A fluxus változása az idő függvényében

A kiszámolt és ábrázolt $(At/V) - V/A$ függvényen viszont az látható, (14. ábra) hogy a tengely metszet az origó elé esik, vagyis a fluxus és nyomás csökkenést a membrán saját ellenállása okozta nem pedig a membrán pórusainak eltömődése. Az itt kiszámolt fajlagos ellenállás értéke $11,476 \cdot 10^8 \frac{\text{mbar} \cdot \text{s} \cdot \text{L}}{\text{cm}^3 \cdot \text{cP} \cdot \text{g}}$ volt. Ez az érték nagyobb, mint amit a lapmembránnál kaptam.

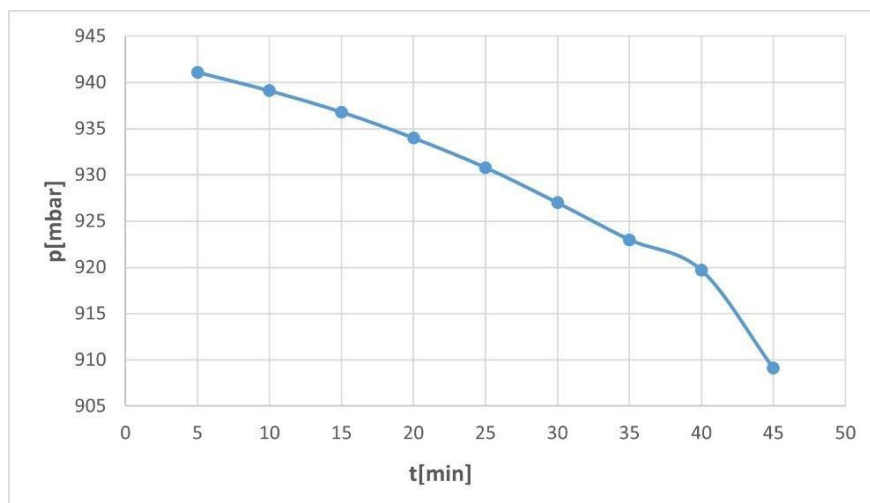


14. ábra $(At)/V$ ábrázolása a V/A függvényében

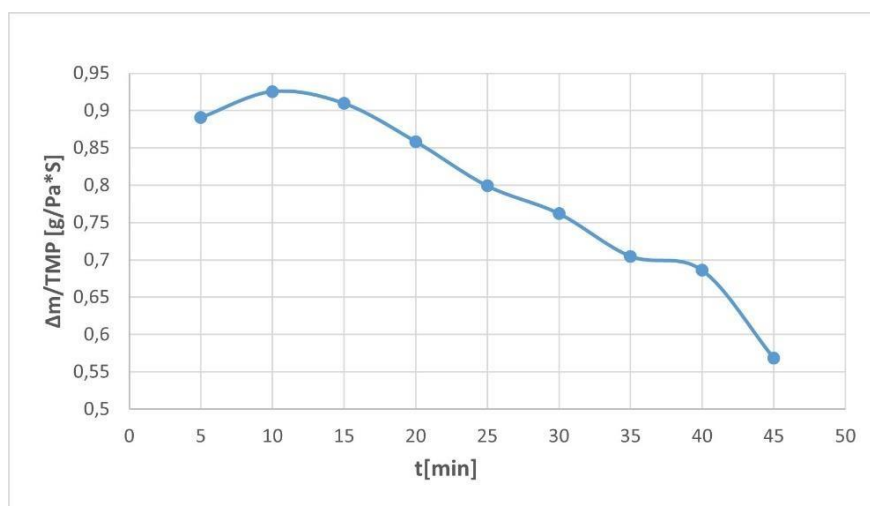
5.4. X-Flow membránmodul vizsgálata 3,18 pH-jú fermentlével

Savas körülmények között a fermentlé sokkal darabosabb volt. Valószínűleg a hozzá adott kénsav hatására a fehérje komponensek kicsapódtak a fermentlébe. A szűrlet ebben az esetben is tiszta volt, borostyán színű. A nyomás változás csökkent az idő elteltével (15. ábra) míg a

fluxus (16.ábra) egy kis ideig növekedett majd csökkenni kezdett. $(\Delta t)/V - V/A$ diagramról ugyan az látható, mint az előző esetben, hogy ott is a membrán ellenállása (még savas környezetben is) jelentős, nem elhanyagolható. (17.ábra).

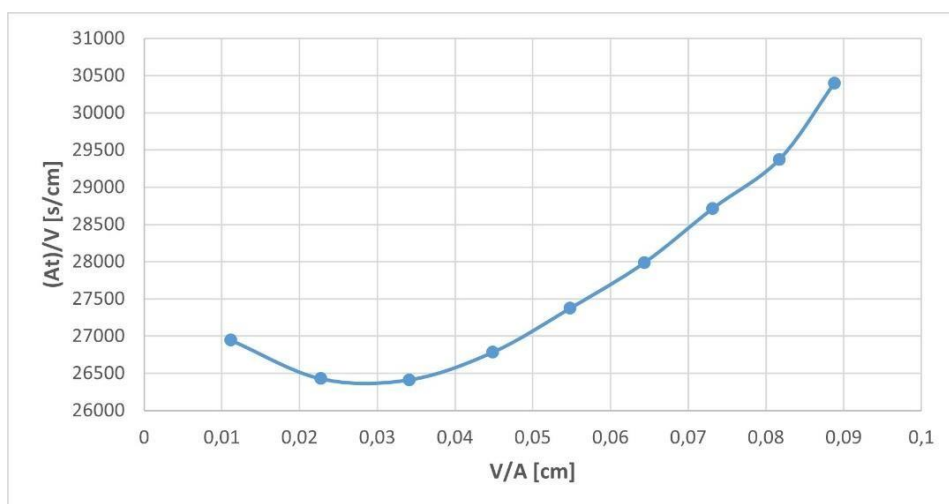


15. ábra Nyomás változás ábrázolása az idő függvényében



16. ábra Fluxus változás az idő függvényében

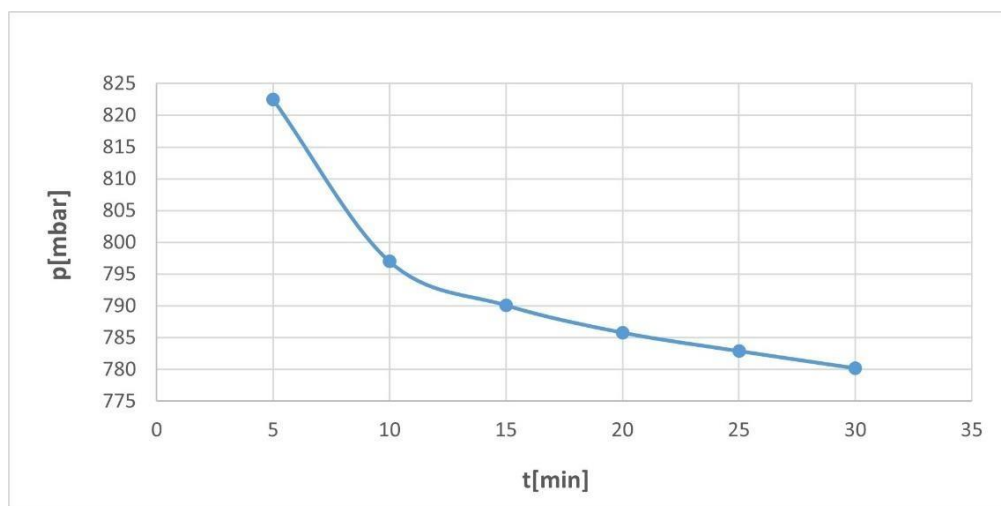
Ebben az esetben kapott szűrőfelület fajlagos ellenállás értéke $2,0538 \cdot 10^8 \frac{\text{mbar} \cdot \text{s} \cdot \text{L}}{\text{cm}^3 \cdot \text{cP} \cdot \text{g}}$ Ez az érték kisebb az előzőhöz képest.



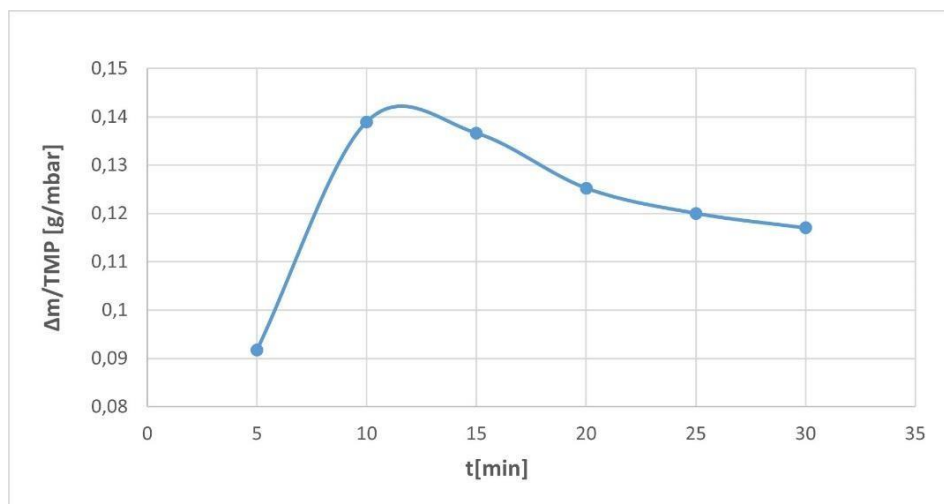
17. ábra $(At)/V$ ábrázolása a V/A függvényében

5.5. X-Flow membránmodul vizsgálata 9,09 pH-jú fermentlével

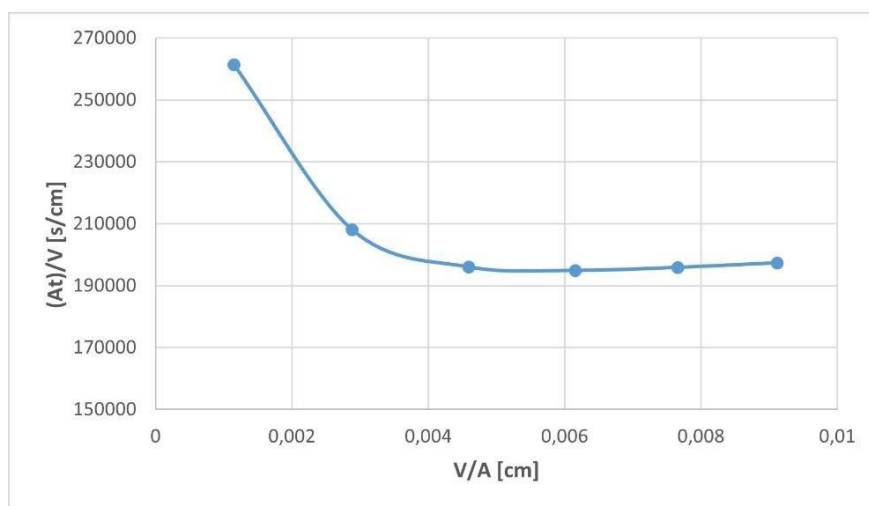
Eltérő változásokat figyeltem meg a lúgos tartományban (9,09 pH) lévő fermentlé vizsgálati során. A fermentlé a pH állítás után nem változott meg jelentősen csupán a színe mélyült egy kicsit. Viszont a mért nyomás változás itt is csökkent az idő elteltével (18 ábra) Viszont a fluxus (19. ábra) az előző savas méréshez képest jóval élesebb növekedésbe kezdett, de utána hozta a csökkenő tendenciát. A 20. ábrán jól látható, hogy itt meredek csökkenés után állandó értékre állt be a rendszer.



18. ábra Nyomás változása az idő függvényében



19. ábra A fluxus változása az idő függvényében

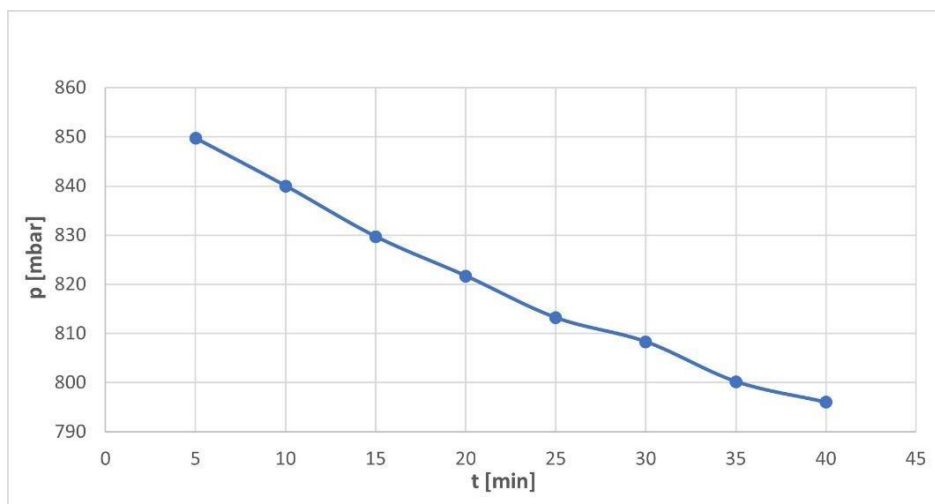


20. ábra (At)/V ábrázolása a V/A függvényében

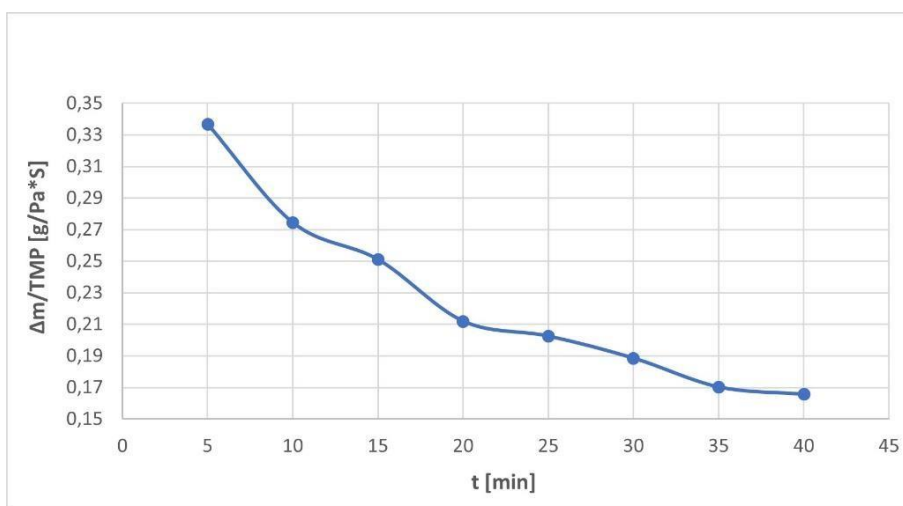
A szűrőfelület fajlagos ellenállása az eddigiekhez képest nagyobb érték lett $185,863 \cdot 10^8 \frac{\text{mbar} \cdot \text{s} \cdot \text{L}}{\text{cm}^3 \cdot \text{cP} \cdot \text{g}}$. A magasabb pH érték nem megfelelő az ilyen fajta biofilm kialakításához, hiszen nem segíti elő a pórusokban való megkötődést, eltömődést.

5.6. X-Flow membránmodul vizsgálata 7,23 pH-jú fermentlével

A tisztább, vagyis nem fertőződött II. fermentlé feltöltése után azonnal körbe vették a szilárd alkotó elemek a membrán modult. Az alsó bevezető csónkán lévő köpeny térben látványosan fel dúsultak ezek a szilárd alkotó elemek. A nyomás (21. ábra) és fluxus (22. ábra) változás szép egyenletes volt.

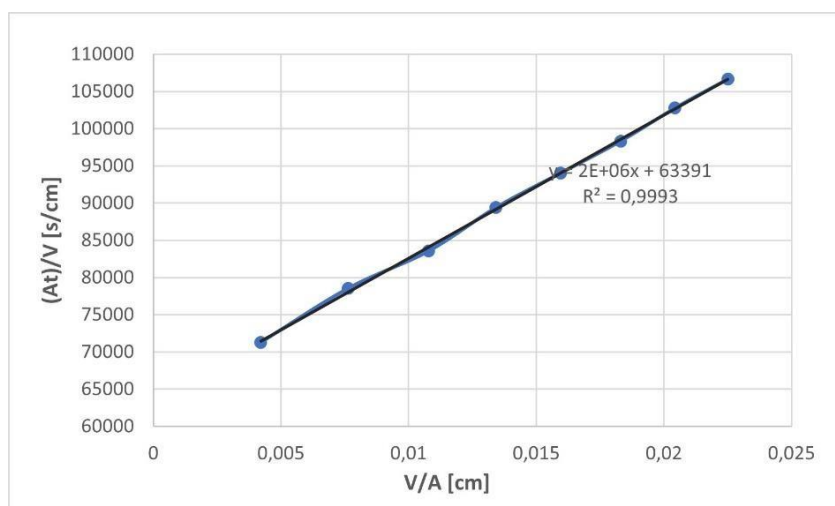


21. ábra Nyomás változása az idő függvényében



22. ábra Fluxus változás az idő függvényében

Az $(At)/V - V/A$ diagramra illesztett egyeneséből látszik (23. ábra), hogy a tengely metszet már közelíti az origót, vagyis a membrán eltömődés (szűrőlepeny ellenállása) megjelent. Ez már egy pozitívabb eredmény az eddigiekhez képest.



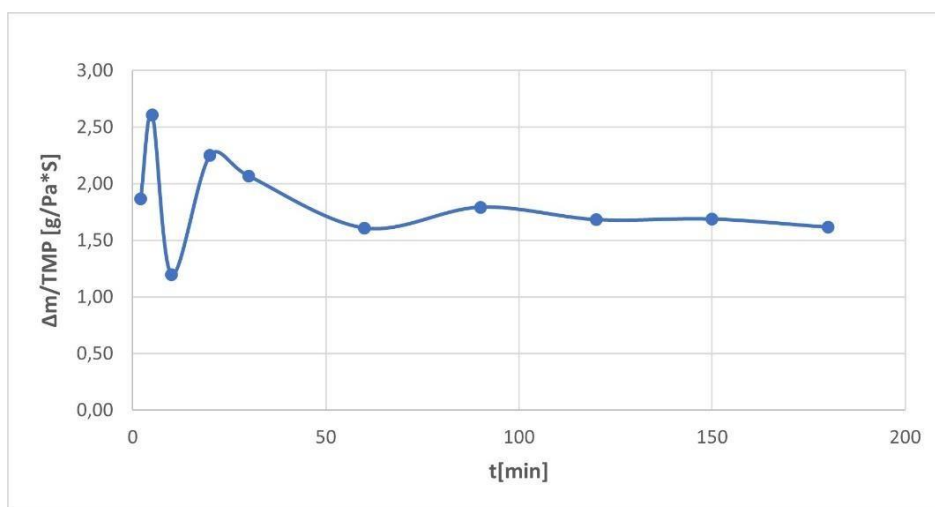
23. ábra $(At)/V$ ábrázolása az V/A függvényében

A szűrőfelület fajlagos ellenállása $44,781 \cdot 10^8 \frac{\text{mbar} \cdot \text{s} \cdot \text{L}}{\text{cm}^3 \cdot \text{cP} \cdot \text{g}}$ már jól közelíti a lapmembránál

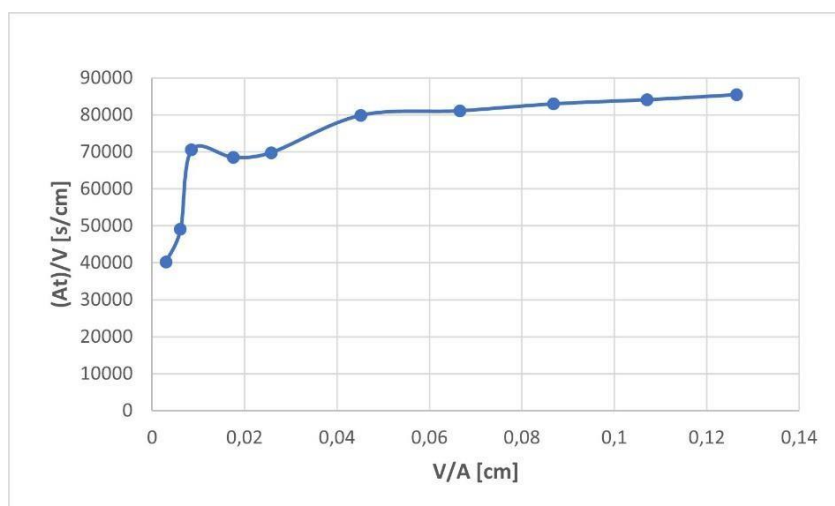
meghatározott referencia értéket.

5.7. ULTRADYNTM membránmodul vizsgálata 7,23 pH-jú fermentlével

A kb. 4x-er nagyobb membrán modul mérése során észrevehető volt a membrán jóval nagyobb ellenállása, mint a kisebb modulnál. Mint már említettem ebben az esetben a vákuum szivattyú használata volt szükséges, hogy a mérés elvégezhető legyen. A fluxus kezdeti ingadozásai a mérés folyamán eltűntek és egy állandó érték felé kezdett beállni. (24. ábra). A többi méréssel ellentétben a $(At)/V - V/A$ diagramm (25. ábra) kezdeti értékei hirtelen növekedésnek indult majd egy egyenletes, de további növekedés figyelhető meg ami valószínűleg egy állandó érték felé stagnál.



24. ábra Fluxus változása az idő függvényében



25. ábra (At)/V ábrázolása a V/A függvényében

Ennek a fajlagos ellenállás értéke a legjobb az eddigi mérési eredmények alapján $17,984 \cdot 10^8$
 $\frac{\text{mbar} \cdot \text{s} \cdot \text{L}}{\text{cm}^3 \cdot \text{cP} \cdot \text{g}}$

6. Összefoglalás

Munkám célja az volt, hogy a két ultra szűrő membrán modul alkalmaságát megvizsgáljam a Membrán Gradosztát Reaktor felhasználási céljából. Különböző pH értékeken és két eltérő szárazanyag tartalmú fermentlével végeztem ezeket a vizsgálatokat. A hat mérés során kapott fajlagos ellenállási tényezők a következő összefoglaló táblázatban szerepelnek:

3. táblázat

Használt modul/ szűrő felület	Fermentlé tisztasága	pH	Fajlagos ellenállás $\frac{\text{mbar} \cdot \text{s} \cdot \text{L}}{\text{cm}^3 \cdot \text{cP} \cdot \text{g}}$
<i>X-Flow</i>	fertőzött	7,38	$11,476 \cdot 10^8$
<i>X-Flow</i>	fertőzött	3,18	$2,0538 \cdot 10^8$
<i>X-Flow</i>	fertőzött	9,09	$185,863 \cdot 10^8$
<i>X-Flow</i>	tiszta	7,23	$44,781 \cdot 10^8$
<i>ULTRADYNTM</i>	tiszta	7,23	$17,984 \cdot 10^8$

A referencia értéknek vett szűrő lepeny és a szűrőfelület együttes fajlagos ellenállási értéke $15,899 \cdot 10^3 \frac{\text{mbar} \cdot \text{s} \cdot \text{L}}{\text{cm}^3 \cdot \text{cP} \cdot \text{g}}$. Látható, hogy a legjobb értéket a vákuum szivattyúval végzett kísérlet eredményezte. A pH értékek mint látható befolyásolták a mérés kimenetelét hiszen mind savas

mind lúgos környezet nem hozták a megfelelő ellenállási értékeket. A fermentlé összetétele sem befolyásolta jelentősen a mérési eredményeket. A mérési eredmények kimutatták, hogy aMRG-hez szükséges megfelelő membrán további vizsgálatokat igényel, illetve, hogy javítani kell a membrán modul eltömődését annak érdekében, hogy a kitudjuon alakulni a megfelelő biofilm.

8. Irodalom jegyzék

- [1]. The gradostat: A bidirectional compound chemostat and its application in microbiological research Lovitt R, Wimpenny J *Journal of General Microbiology*(1981) 127(2)
- [2].The membrane gradostat reactor: Secondary metabolite production, bioremediation and commercial potential Ntwampe S, Sheldon M, Volschenk H *African Journal of Biotechnology*
- [3].The role of physical support in secondary metabolite production by *Streptomyces* species Lajtai-Szabó P, Hülber-Beyer É, [...] Bélafi-Bakó K *Biochemical Engineering Journal* (2022) 185 108495
- [4].Rioseras, B., López-García, M. T., Yagüe, P., Sánchez, J., & Manteca, A. (2014). Mycelium differentiation and development of *Streptomyces coelicolor* in lab-scale bioreactors: programmed cell death, differentiation, and lysis are closely linked to undecylprodigiosin and actinorhodin production. *Bioresource technology*, 151, 191–198. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.10.068>
- [5].Law, J. W., Chan, K. G., He, Y. W., Khan, T. M., Ab Mutalib, N. S., Goh, B. H., & Lee, L. H. (2019). Diversity of *Streptomyces* spp. from mangrove forest of Sarawak (Malaysia) and screening of their antioxidant and cytotoxic activities. *Scientific reports*, 9(1), 15262. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-51622-x>
- [6].Manteca, A., Alvarez, R., Salazar, N., Yagüe, P., & Sanchez, J. (2008). Mycelium differentiation and antibiotic production in submerged cultures of *Streptomyces coelicolor*. *Applied and environmental microbiology*, 74(12), 3877–3886. <https://doi.org/10.1128/AEM.02715-07>
- [7].Hasani, A., Kariminik, A., & Issazadeh, K. (2014). *Streptomyces*: characteristics and their antimicrobial activities.
- [8].Bystrykh, L. V., Fernández-Moreno, M. A., Herrema, J. K., Malpartida, F., Hopwood, D. A., & Dijkhuizen, L. (1996). Production of actinorhodin-related "blue pigments" by

Streptomyces coelicolor A3(2). *Journal of bacteriology*, 178(8), 2238–2244.
<https://doi.org/10.1128/jb.178.8.2238-2244.1996>

- [9]. Bélafile Bakó Katalin, Nemesthóty Nándor, (2020). MEMBRÁNOS MŰVELETEK.
In EFOP 3.4.3.-16-2016-00009, https://moodle2.mk.uni-pannon.hu/pluginfile.php/35982/mod_resource/content/0/Membranos%20műveletek.pdf
- [10]. Pécsi Miklós, Bélafile Bakó Katalin (2011). FERMENTÁCIÓS FELDOLGOZÁSI
MŰVELETEK Egyetemi tananyag.
http://pc.ch.bme.hu/oktatas/konyvek/abet/bioelvalmuveletek/00%20Digitalis%20tananyag/Digit%20jegyzet_animaciok%20nelkul.pdf