SZAKDOLGOZAT

Szakdolgozat_Adamik Zétény Zalán

Adamik Zétény Zalán

2024

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Budai Campus

Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet

élelmiszermérnök alapképzési szak

GALAGONYAEXTRAKTUM BESŰRÍTÉSÉNEK VIZSGÁLATA MEMBRÁNSZŰRÉSSEL

Belső konzulensek: **Dr. Bánvölgyi Szilvia**

egyetemi docens

Belső konzulensek intézete/tanszéke: **Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet / Élelmiszeripari Műveletek és Folyamattervezés Tanszék**

Készítette: **Adamik Zétény Zalán**

Szakdolgozat_Adamik Zétény Zalán

Budapest

2024

Tartalom

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK 1
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS 3
2.1. Galagonya 3
2.1.1. Eredete 3
2.1.2. Jellemzők és morfológia 4
2.1.3. Antioxidáns tartalom 5
2.1.4. Polifenol tartalom 6
2.1.5. Felhasználása 8
2.2. Extrakció 8
2.3. Membránszűrés 10
2.3.1. Fordított ozmózis (RO) 13
2.4. Design Expert 13
3. ALKALMAZOTT MÓDSZEREK 15
3.1. Vizsgált anyagok 15
3.2. Felhasznált vegyszerek 15
3.3. Módszerek 15
3.3.1. Extrakció 15
3.3.2. Membránszűrés (RO) 16
3.3.3. Összes polifenol-tartalom (TPC) mérése Folin-Ciocalteu reagens segítségével 17
3.3.4. Az antioxidáns aktivitás meghatározása FRAP módszer segítségével 19
3.3.5. A folyamat értékelése és modellezése (Design Expert®) 21
4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK 24
4.1. A membránszűrésből származó eredmények összehasonlítása 24
4.2. Az összes polifenol-tartalom, illetve antioxidáns aktivitás meghatározása és modellezése (TPC és AA) 27
4.3. A membránszűrés során az optimális paraméterek mellett kapott eredmények, illetve az ellenállások 30
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK 35
6. ÖSSZEFOGLALÁS 36
IRODALOMJEGYZÉK 37
TÁBLÁZATOK ÉS ÁBRÁK JEGYZÉKE 42
Ábrajegyzék: 42
Táblázatjegyzék: 42
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS 43

Szakdolgozat_Adamik Zétény Zalán

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

A gyógynövények már az emberiség történelmének korai periódusában kiemelkedő szereppel bírtak a mindennapi élet során, mint fitoterápiás hatással bíró kivonatok, készítmények. Ennek az impulzusnak az úgynevezett reneszánszát tapasztalhatjuk meg napjainkban, hiszen nem csak a gyógyulni vágyók esetében alkalmaznak a természetből származó készítményeket, hanem az egészséges életmódot kiemelten fontosnak tartó emberek körében is egyre elterjedtebb a gyógynövények használata, jótékony tulajdonságaiknak köszönhetően (Pászk, 2021).

A XXI. század társadalmára leginkább jellemző negatív tulajdonság a helytelen táplálkozás és a mozgásszegény életvitel. Ennek következtében, számos betegség, rendellenesség és probléma merülhet fel, nem beszélve arról, hogy a kor előrehaladtával alapvetően megnövekszik az embereket érintő megbetegedések száma. Ilyenek például a hipertónia, az érelmeszesedés, illetve számos egyéb szív- és érrendszeri megbetegedések, melyek megelőzésére az orvostudomány szakemberei javasolják bizonyos gyógynövényfajták alkalmazását, de a már kialakult betegségek kezelésére is hatékonynak bizonyulnak a természetes kivonatokon alapuló készítmények (Kovács et al., 2015).

Napjaink további két kiemelkedően fontos témája a környezetvédelem, illetve az energiahiány. A gyógynövények feldolgozása, illetve a belőlük származó készítmények gyártása ezen két tényező szempontjából sem elhanyagolható. A felelős, környezetbarát felhasználás nemcsak gazdasági, de környezetvédelmi szempontból is kiemelkedő fontossággal bír, így megfelelő kutatásokkal és ipari alkalmazásokkal megvalósíthatóak lehetnek ezen feltételek.

Megoldást kínálhatnak olyan gyógynövény sűrítmények, amelyeket környezetbarát és energiatakarékos technológiával állítunk elő. Az ilyen sűrítményeket tudjuk alkalmazni élelmiszerek textúrájának, állagának és minőségének javításához, vagy egyéb termékek gyártásához, amelyek a pozitív tápértékprofiljuk szempontjából biztosíthatják az emberi szervezet megfelelő működését, fenntartva annak ellenállóképességét és egészségét.

A munkám céljául egy olyan módszer megvalósítását, illetve elemzését tűztem ki, amely lehetőséget nyújt a galagonya extraktum értékes komponenseinek megfelelő visszatartására. Az alkalmazott technológia eredményeképp, olyan minőségű és mennyiségű sűrítmény előállítása volt a célom, mely alkalmazható különböző élelmiszeripari készítmények minőségének

Szakdolgozat_Adamik Zétény Zalán

módosítására vagy egyéb olyan termékek gyártására, melyek a galagonya értékes tulajdonságinak köszönhetően, pozitív hatással lehetnek az emberi szervezetre.

Manapság számos lehetőség áll rendelkezésünkre ipari szinten is az értékes komponensek visszatartására, azonban munkám során egy olyan módszert alkalmaztam, amely nem csak hatékony, de emellett környezetbarát, illetve gazdaságos is. Mindezek mellett, a technológiai megvalósítás terén kiemelt figyelmet szenteltem annak is, hogy üzemi méretekben való alkalmazás esetén is egyszerűen kivitelezhető és bővíthető legyen.

A munkámhoz először beszerzésre került a később felhasznált galagonya, majd az ebből készült kivonatot egyfokozatú, szakaszos extrakciós művelet elve alapján valósítottam meg. Az alkalmazott eljárás gazdaságosnak tekinthető, egyszerű a használata, illetve megfelelőnek bizonyul hőmérséklet-stabil komponensek extrakciójához.

Az ezt követő membránszűrési műveletet laboratóriumi körülmények közt végeztem el, egy membránszűrő berendezés segítségével, mely fordított ozmózis (RO – Reverse Osmosis) membránnal volt felszerelve. A membrán kiválasztásánál az volt a fő cél, hogy megfelelő paraméterekkel rendelkezzen ahhoz, hogy minél hatékonyabb visszatartást érjek el a besűrítés folyamán.

A mérés során gyűjtött adatok kiértékelését, illetve modellezését a Design Expert® szoftver demó verziójával sikerült véghez vinnem, amivel az általam felhasznált technológia eredményességét, illetve további ipari és gazdasági megvalósíthatóságára próbáltam következtetni.

A kapott eredmények segítségével szeretném később megvizsgálni a technológia, valamint a keletkezett permeátum felhasználási lehetőségeit és gazdasági hatásait egyaránt.

Szakdolgozat – Adamik Zétény Zalán

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. Galagonya

A vadon termő gyógynövények iránt a közelmúltban világszerte megnőtt az érdeklődés, mivel bioaktív vegyületek gazdag forrásai, továbbá potenciális jótékony egészségügyi tulajdonságaik vannak, amelyek sok esetben évszázadok óta jól ismertek. Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) jelentése szerint a világ lakosságának mintegy 80%-a (WHO, 2013) hagyományos gyógyszerek mellett gyógynövényeket is használ betegségeik kezelésére. Az egyik ilyen érdekes és népszerű gyógynövény a galagonya (*Crataegus spp.*), egy lombhullató ágas cserje, kis fa, amely csavart és tüskés, a *Rosaceae* családba és a *Maloideae* alcsaládba tartozik. Világszerte több száz fajjal van jelen és főként a Föld északi féltekéjén termesztik (Nazhand et al., 2020).

2.1.1. Eredete

A *Rosaceae* (rózsafélék) családja 100 nemzetségből és 3000 fajból áll. Gazdasági szempontból, gyakorlatilag az egyik legjelentősebb gyümölcs-, dió-, dísz-, aroma-, fűszer- és fás szárú növénycsalád. A *Rosaceae* emberi fogyasztásra háziasított ehető növényei közé tartozik az alma, eper, körte, őszibarack, szilva, mandula, málna, meggy és cseresznye, valamint a galagonya is ezen családba tartozik (Soundararajan et al., 2019).

A galagonyát a *Crataegus* tudományos nemzetségnév (*Crataegus spp.*) fedi, mely szó görög eredetű és több jelentés fűződik hozzá. Ilyen például a krataigosz, ami ehető gyümölcsöt jelent, illetve a krataiosz, ami az erős, kemény szavakból származik, ezzel utalva a fajok fáira is. A galagonya honos Észak-Amerikában, Európában, Ázsiában és Észak-Afrikában egyaránt. A nemzetségbe 150–1200 faj tartozik, ebből Európában 50–100 faj tenyészik vadon. A fajok száma nagymértékben függ a rendszerezés összevonó vagy részletező felfogásától. A Kárpát-medencében 32, míg Magyarországon 20 faj és (elsődleges, illetve állandósult) fajhibrid őshonos (Kerényi-Nagy, 2012).

Korábbi kutatások alapján, a *Crataegus Pyrinae* altörzsként volt számon tartva és molekuláris, illetve nem molekuláris karakterek alapján azt állapították meg, hogy a galagonya Észak-Amerikából származik. Később szekvenciákat használtak fel különböző genetikai és molekuláris biológiai vizsgálatokhoz, hogy következtessenek a Kelet-Ázsiából, Észak-Amerika nyugati részéből, Észak-Amerika keleti részéből és Európából származó fajok közötti kapcsolatokra. A kapott eredmények azt mutatták, hogy Észak-Amerika keleti része és Európa valószínűleg a *Crataegus* legfrissebb közös származási területe. Jelenleg viszont Kína a

Szakdolgozat – Alapítvány vétény

galagonya termesztésének központja, emellett pedig a termesztett és néhány vadon élő *Crataegus* faj származási helye egyaránt (Du et al., 2019).

2.1.2. Jellemzők és morfológia

A galagonya apró fák, illetve cserjék termése. A leginkább társadalmilag ismert nevei közé tartozik: a májvirág, a gyors tüske, a fehértüske, a hagytövis, a kenyér- és a sajtfa. Általában többágú, 2-5 méter magas bokorszerű fás képződmények, de szélsőséges esetekben elérhetik a 10 méteres magasságot is. Éghajlat szempontjából az alacsonyabb és melegebb területek erdőszegélyeit kedveli, ezért az egyenlítőhöz közelebbi területeken figyelhető meg leginkább az elterjedése. A galagonya gyümölcsei általában ehetőek, azonban ízükből adódóan a társadalomban nem elterjedt és az emberek szűkebb köre fogyasztja csak. A már megérett galagonya gyümölcs színskálája a sárgától kezdődően, a zöldön keresztül és a piroson át, egészen a sötétliláig megfigyelhető. Termésérés szempontjából a legtöbb faj kora ősszel, illetve az ősz közepén szokott szüretelhetővé és fogyaszthatóvá válni (Özcan et al., 2005).

Rendszertani szempontból négy különböző nemzetséget, csoportot különíthetünk el. Ilyenek a rövidcsészés galagonyák csoportja (*Crataegus monogyna agg.*), a kétbibés galagonyák csoportja (*Crataegus laevigata agg.*), a hosszúcsészés galagonyák csoportja (*Crataegus curvisepala agg.*), illetve a fekete galagonyák (*Crataegus nigra agg.*) csoportja (Kerényi-Nagy, 2012). Az általam használt galagonya a rövidcsészés csoportba (monogyna csoport) tartozik, így ezen csoport jellemzőit kívánom kifejteni bővebben a következő sorokban. Morfológiai szempontból, ez a típus egy alacsony, nagyjából 50 és 100 cm magas, illetve merev hajtásrendszerű cserje. Termős rövidhajtásai vannak, a végeken tövisekkel, melyek nagyjából 1-1,5 cm hosszúak. Úgynevezett pálhalevelekkel rendelkezik, amik vastag szegélyűek, széleik pedig be vannak göngyölve. A leveleknek mind a színe, mind a fonák oldala (főként az erek környékén) enyhén szőrös, illetve ritka pillás széllel is rendelkeznek. A vegetatív hajtás levelei szárnyasan fel vannak szelve, amiknek a csúcsai többszörösen villás elágazással vannak tagolva. A generatív rövidhajtásain található levelek rombusz alakúak és ékvállúak, szélességükre és hosszukra 1-3 cm jellemző, vastagok, bőrneműek, illetve fényesek és örökzöld hatást keltenek, viszont fontos kiemelni, hogy a faj alapvetően lombhullató. Továbbá, ezek a levelek szeldeltek, amik 3-5 szeletűek, emellett keskenyek és 3-6 foggal rendelkeznek, de lehetnek kerekdedek és 1-2 fogúak is, ritkán villás elágazással. Rövid csészelevéllel és egy termővel rendelkezik. Az ártermésének hosszára 7-10 mm jellemző, általában gömbölyű formájú, de ritkán tojásdad alak is kialakulhat. Termése jellemzően piros színű és egy csontárú, a felszíne pedig ritkásan szőrös vagy esetenként kopasz szokott lenni (Kerényi-Nagy, 2012).

Szakdolgozat_Adamik Zétény Zalán

1. ábra: *A rövidcsészés galagonya (Crataegus monogyna) termése (Forrás: Internet 1)*

2.1.3. Antioxidáns tartalom

Antioxidánsnak nevezünk minden olyan anyagot, amely közvetlenül vagy közvetve hathat a szabad gyökökre, annak érdekében, hogy késleltesse, megelőzze vagy kiküszöbölje a célmolekulák oxidatív károsodását (Halliwell, 2020). Szervezetbe juttatása főleg azért ajánlott, mert semlegesíti az itt megtalálható káros szabad gyököket, illetve a sejteket óvja ezektől a káros és szerteágazó impulzusoktól, hiszen negatívan módosulhatnak ennek következtében mind a fehérjék, mind a nukleinsavak, mind a lipidek egyaránt. Az utóbbi időkben jelentett antioxidáns hatású bioaktív komponensek közé tartoznak a fenolok, a poliszacharidok és az alkaloidok. Azóta bebizonyították, hogy a galagonya fenolokban gazdag, amelyeket erős antioxidánsként ismernek el, emellett pedig lineáris összefüggés van a galagonya összes fenol felszabadulása és a szabad gyökök megkötő képessége között (Zheng et al., 2018).

Kimutatták, hogy a galagonya szabad fenoljának antioxidáns kapacitása a gyümölcs különböző részeitől függ, mivel a héjak antioxidáns aktivitása szignifikánsan magasabb volt, mint a pépé (Lou et al., 2020). Továbbá, a galagonyakivonatok antioxidáns aktivitása is eltért a különböző extrakciós módszerek esetén, mivel a metanol és az etanol kivonatok jó antioxidáns hatást fejtettek ki, hogy megvédjék a fehérjét és a DAN-t (2-dezoxi-2,3-dihidro-N-acetil-neuraminsav) a szabad gyökök károsodásától, míg a kloroform és petroléter kivonatok

Szakdolgozat_Adam

alapvetően nem rendelkeztek védő hatással (Zhang et al., 2020). Emellett az antioxidáns hatás erőssége a galagonya fajtáitól függően is változik, ami a galagonya vegyületösszetételének nagy különbségéből adódik, különösen a galagonya antioxidáns hatásánál, ahol az összes fenolos és egyedi fenolos vegyület volt a fő tényező (Alirezalu et al., 2020).

Mindemellett, számos tanulmány kimutatta, hogy a rákos megbetegedések, az öregedés vagy a neurodegeneratív betegségek többnyire a túlzott szabad gyökök termelésével járnak, ezért fontos, hogy megelőzzük a természetes élelmiszer-alapú termékek által okozott oxidatív károsodást. A galagonya fenolok és flavonoidok gazdag forrásaként van jelen a tudomány területén, ezért várhatóan széles körben alkalmazzák majd étrend-kiegészítőként vagy egyéb gyógyászati termék összetevőjeként, hogy megelőzzék vagy javítsák az oxidatív eredetű megbetegedéseket (Forman et al., 2021).

2.1.4. Polifenol tartalom

Számos növény általában természetes formában tartalmaz polifenolokat, mely vegyületek szerkezetüket tekintve összetettek, alapvető monomere pedig egy fenolgyűrű. A fenolgyűrű erősségétől függően a polifenoloknál számos osztályt különböztetünk meg, amik közül a legjelentősebbek a fenolsavak, a flavonoidok, a stiblinek, a fenolalkoholok és a lignánok csoportja. A polifenolok a növényi eredetű élelmiszerekben található biológiailag aktív vegyületek csoportja, továbbá az emberi étrendben leggyakrabban előforduló antioxidánsok is, melyek részt vesznek az egészség védelmében és fenntartásában egyaránt. Leginkább a gyümölcsök, zöldségek, gabonafélék és a kávé fogyasztásával juthatunk hozzá ezen komponensek jótékony tulajdonságaihoz (Abbas et al., 2017).

A galagonya gyümölcsének fenolos összetétele fajonként és fajtánként változik. Emellett a földrajzi elhelyezkedést is figyelembe kell sokszor venni, hisz szignifikáns fordított korrelációt mutattak ki a procianidin-tartalom és a vizsgált fajták földrajzi eredete között. A betakarítás ideje sem elhanyagolható tényező, mivel a teljes fenoltartalom a virágzást követően kezd el konstans növekedni. A termés korai időszakában a klorogénsav és a flavonoid szintje viszonylag magasabbnak mondható, viszont a procianidinek a korai növekedési stádiumban gyorsan szintetizálódnak, ezt követően pedig a gyümölcs procianidin szintje fokozatosan csökken. Végezetül, a hőmérséklet jelentősen befolyásolja a polifenolok stabilitását a galagonya bogyóiban, tehát a gyümölcs tárolására alacsony hőmérséklet ajánlott (Jurikova et al., 2012).

Szerzői jogvédett anyag_Adamik Zétény Zalán

A galagonya gyümölcsében az oligomer procianidinek és glikozidjaik képviselik a fenolos vegyületek fő csoportját. A *C. monogyna* európai galagonya faj gyümölcsének fenolprofiljával kapcsolatos vizsgálatok flavonol-glikozidok, fenolsavak és B-típusú procianidinek jelenlétét mutatták ki leginkább. A fenolok, főként a flavonoidok, illetve a B-típusú procianidinek osztálya, továbbá a kínai galagonya (*C. pinnatifida Bge.*) gyümölcsének legfontosabb bioaktív vegyületei közé is tartoznak (Jurikova et al., 2012).

A galagonya különböző részeiből kivont másodlagos anyagcseretermékek az egyszerű zsírsavaktól a terpenoidokon keresztül, a polifenolos vegyületekig terjednek. Utóbbiak közül például számos polifenolt mutattak ki különböző vizsgálatokkal a *C. monogyna* esetén. Emellett, számos vegyület rendelkezik antioxidáns tulajdonságokkal is, amelyek közé tartozik a klorogénsav, az epikatekin, a hiperozid, a kvercetin, a rutin, a vitexin és a procianidinek. Általánosságban elmondható, hogy a flavonoidok, különösen a flavonolok és a flavonok a virágbimbókban bőségesen megtalálhatók, míg a proantocianidinek nagyobb mennyiségben inkább az éretlen gyümölcsökben találhatók meg. A galagonyában különböző elemzések segítségével a flavonoidok (rutin, vitexin, vitexin-2″-O-ramnosid és hiperozid) legmagasabb szintjét a fák felső ágairól gyűjtött levelekben mérték. A polifenol-alapú antioxidáns hatóanyagokon kívül pedig számos más vegyületet is találtak, amelyek hozzájárulhatnak a növény táplálkozási értékéhez és gyógyászati tulajdonságaihoz. Például a virágok magas tokoferol- és aszkorbinsav-tartalommal rendelkeznek, és az érett gyümölcsökhöz képest jó n-6 és n-3 zsírsav arányt mutatnak, míg az éretlen gyümölcsök általában a többszörösen telítetlen zsírsavakat tartalmazzák a legnagyobb mennyiségben (Nabavi et al., 2015).

2.1.4.1. Egyéb biológiai jelentőségű komponensek

A flavonoidok a növényvilágban mindenütt elterjedt polifenolos vegyületek osztálya. Szerkezetileg két hattagú aromás gyűrűből (A és B) állnak, amelyeket egy három szénatomos lánc köt össze, amely ciklizálódhat a harmadik gyűrű (C) kialakulása érdekében. A B-gyűrű kötésének a három szénatomos láncban elfoglalt helyétől (2, 3 vagy 4 szénatomos pozíció) vagy a lánc kémiai felépítésétől (például kettős kötés jelenléte vagy hiánya, ciklizáció, keton funkciós csoport jelenléte vagy hiánya) függően a flavonoidokat több osztályba sorolják, mint például a flavonok, flavonolok, flavanonok, flavánok, antocianidinek, izoflavonok, neoflavonok és kalkonok.

A klorogénsav és izomerjei a *C. monogyna* virágainak és sejtszuszpenziós kultúráinak fő összetevői közé tartoznak. Viszont, a virág összetételének további vizsgálata más koffeokinsavak, köztük a 3- és 4-O-koffeoil-származékok jelenlétét is kimutatta.

Szakdolgozat_Adamik Zétény Zalán

Egyéb módszerekkel sikerült még azonosítani a *C. monogyna* virágkivonatokban a betulinsavat, az oleanol- és az ursolsavat. A növény légi részeiből (beleértve a gallyakat, a szárat és a leveleket) butyrospermolt, 24-metilén-24-dihidrolanoszterolt és cikloartenolt, valamint egyszerű alifás alkoholokat is sikerült izolálni (Nabavi et al., 2015).

2.1.5. Felhasználása

A galagonya gyümölcsének számos felhasználási lehetőségei vannak. A gyümölcsök vizes alkoholos kivonatát étrend-kiegészítők és gyógyszerek természetes összetevőinél, továbbá egyéb funkcionális élelmiszerek kiegészítésére vagy módosítására is alkalmazzák bizonyos termékek esetén.

A galagonya gyógyászati célokra történő alkalmazása meglehetősen régóta elterjedt. Felhasználása többek között emésztési panaszok, nehézlégzés, vesekő, továbbá szív- és érrendszeri rendellenességek kezelésére terjedt leginkább el. A szív- és érrendszeri hatások feltehetően a pozitív inotróp aktivitásnak, az érfal integritását növelő és a koszorúér véráramlását javító képességnek, valamint az oxigénhasznosításra gyakorolt pozitív hatásoknak köszönhetőek. A feltételezések szerint a flavonoidok felelősek ezekért a hatásokért. Ezen túl, a galagonya ígéretesnek bizonyult a pangásos szívelégtelenség (CHF) kezelésében is mind a nem kontrollált, mind a kontrollált klinikai vizsgálatokban egyaránt. Viszont, a vérzsírszintekre gyakorolt kedvező hatására is vannak utalások korábbi kísérletek alapján (Rigelsky et al., 2002).

Számos egyéb jótékony tulajdonságot írhatunk még a galagonya pozitív oldalának halmazába, hiszen a flavonoid tartalom következtében in vitro (latinul „az üvegben", Petri-csészében vagy kémcsőben történő kísérleti folyamat) és in vivo (élő szervezeteken vagy sejteken végzett kísérletei folyamat) gyulladásgátló potenciállal rendelkezik, emellett pedig szerepet játszhat a májvédelem terén is. De, gyomorvédő hatás kifejtését is sikerült már kimutatni kutatásokkal. Emellett, a procianidineknek fontos szerepük van az oxidatív stressz megelőzésében, illetve csökkentésében. Végezetül, a magas antioxidáns tartalom következtében a szabad gyökök megkötésében is pozitív hatással rendelkezik a galagonya, így a rákos sejtek kialakulásának megelőzésében is az emberi egészség hasznára tud válni (Jurikova et al., 2012).

2.2. Extrakció

Az extrakció mind az élelmiszeripar, mind a gyógyszeripar területén széleskörűen elterjedt technológia. Főként gyümölcs- és zöldségfeldolgozás esetén kivonatok készítésére,

Szakdolgozat_Adamik Zétény Zalán

továbbá gyógyszer-, növényi olaj-, illóolaj-, illetve cukorgyártás esetén alkalmazzák (Li et al., 2006).

Alapja, egy meghatározott értékes vagy káros komponens szelektív kioldása szilárd vagy folyékony elegyből, azaz leadó fázisból, egy folyékony oldószer, azaz felvevő fázis segítségével. A módszer nem vezet közvetlenül tiszta komponensekhez, tehát oldószer-regenerálásra van szükség. Az extrahálásnál a leadó- és a felvevő fázis intenzív érintkeztetésére, összekeverésére, továbbá az értékes komponens anyagtranszportjához szükséges megfelelő időtartam biztosítására, illetve a folyamat során keletkező két fázis (raffinátum és extraktum) szétválasztására kell fokozottan odafigyelni. Attól függően, hogy a leadó fázis szilárd vagy folyadék, elkülönítünk folyadék-folyadék és szilárd-folyadék extrakciót, de léteznek egyéb speciális fajták is, mint például a szuperkritikus extrakció (Ivanovs et al., 2017).

Szilárd-folyadék extrakció során szilárd anyagból oldunk ki szelektíven egy vagy több komponenst. Ezen folyamat során kiemelt fontosságú szerepe van a diffúziónak, mivel az extraháló oldószer az adott anyagba diffundál, illetve a szilárd anyagból az oldat szintén diffúzió révén távozik. Ajánlott továbbá a magas hőmérséklet alkalmazása is az extrakció során, mivel így nagyobb diffúziós állandó és csökkenő oldószer viszkozitás érhető el, valamint a kioldandó komponens oldhatósága is növekszik az oldószerben. A kivonás során cseppfolyós, szelektív oldószer alkalmazása az általános, ami lehet szerves vagy szervetlen folyadék, illetve víz is. Főként atmoszférikus nyomáson végzik a folyamatot, de indokolt esetekben magasabb nyomás is alkalmazható (Yazdi, 2011).

Az extrakciónak két fő lépése van. Először is a kezelendő szilárd anyagot és az oldószert érintkezésbe hozzuk, így a kioldandó komponens, vagy komponensek az oldószerbe kerülnek. Az ezt követő lépésben pedig az oldott anyagot vagy anyagokat tartalmazó extraktumot elválasztjuk a raffinátumtól. Végezetül, utólépésként fontos, hogy visszanyerjük az oldószert a benne oldott komponensek eltávolításával, amit általában elpárologtatással vagy desztillációval végeznek.

Az extrakció hatékonyságát több tényező is befolyásolhatja. Fontos szerepe van például a két fázis közti határfelület méretének, az extrahálandó komponens minőségének, az alkalmazott oldószer koncentrációjának, illetve a hőmérsékletnek egyaránt. De, az oldószer megválasztásakor is körültekintően kell eljárni. Általánosan elterjedt a víz, az etil-acetát, az aceton, az etanol és a szén-dioxid is, viszont ezeknek sok követelménynek is meg kell felelniük, mint például a gazdaságosság, elpárologtathatóság, sűrűség és oldhatóság (András, 2017).

Szakdolgozat_Adamik Zétény Zalán

Egyéb hagyományos módszer még a Soxhlet-extrakció, a szobahőmérsékleten végzett áztatás (macerálás), illetve a magasabb hőmérsékletet igénylő forrázás (infusum). A természetes készítmények, mint például az illóolajok extrakcióját hagyományos technikák alkalmazásával szokták kivitelezni, viszont az említett módszerek manapság már több kihívással rendelkeznek. Ilyen többek között a hosszú extrakciós idő, a költségesség, a magas tisztaságú oldószerek szükségessége, az alacsony extrakciós szelektivitás, illetve a magasabb hőmérsékleten bomló vegyületek termikus bomlása (Sik, 2021). Ennek következtében, mint ahogy arról Belwal és munkatársai (2020) beszámoltak, a tudomány folyamatosan fejlődött és újabb technikákat vezettek be, mint például az ultrahangos- (UAE) és a mikrohullámú (MAE) extrakció. Ezen technikák számos olyan előnnyel rendelkeznek, mint például a feldolgozási idő csökkentése, kisebb oldószer igény, gazdaságosság és környezetbarát felhasználás (Rasul, 2018).

2.3. Membránszűrés

Membránszűrésnél molekuláris méretekben tudunk szétválasztani folyadékot, illetve szilárd anyagot egy membrán segítségével, ami egy permszelektív réteg. Ez a membrán képes egy kettő, vagy esetleg több komponensből álló elegy egyes komponenseit áteresztení, míg másokat részben, vagy teljes egészében visszatartani. Számos területen használják a biotechnológiától kezdődően a környezetvédelmi tevékenységeken keresztül, egészen az élelmiszeriparig, például a tejiparban, gyümölcslégyártás során azok besűrítésére, szeszesiparban a borok gyártásakor, valamint a fermentációs eljárásokban is alkalmazható. Felhasználásának előnyei között lehet említeni az alacsony energiaigényt, a környezetbarát alkalmazást, illetve az egyszerű használatot és bővíthetőséget, azonban hátrányai is megfigyelhetők, mint például a membrán eltömődése, illetve az alacsony élettartam.

Általánosságban, minden olyan eljárást, műveletet, ahol valamilyen hajtóerő eredményeként szelektív transzport megy végbe a membránon keresztül, membránműveletnek nevezzük. A membrán egy permszelektív réteg, ami az áteresztőképességre, azaz permeabilitásra, illetve szétválasztásra, tehát szelektivitásra utal. Ezen műveletekre jellemző továbbá, hogy jelentős mértékben fizikai szétválasztáson alapszanak, tehát a leválasztandó komponensek nem mennek keresztül sem termikus, sem kémiai, sem biológiai változásokon. A hajtóerő, amely általánosságban szerepet játszik a komponenseknek a kémiai potenciálkülönbsége, viszont ezen belül megkülönböztetünk nyomás, koncentráció, elektrokémiai potenciál, illetve hőmérséklet-különbség által létrehozott műveletet is. A nyomáskülönbségen alapuló folyamatok esetén a transzmembrán nyomás (TMP) a szűrés hajtóereje, ami a membrán betáplálási és a retentátum oldalán, illetve a permeátum oldalán mért

Szakdolgozat_Adamik Zétény Zalán

nyomásérték különbsége. A szétválasztani kívánt elegy betáplálását követően a permszelektivitás hatására potenciálkülönbség alakul ki, amely megkezdi a szűrés folyamatát. Ezt követően a szűrendő anyag komponenseinek egy része áthalad a membránon, és szűrletként, azaz permeátumként távozik, míg a visszatartott komponensek a membrán betáplálás felőli oldalán visszamaradnak, egy sűrű réteget létrehozva, amit sűrítménynek, azaz retentátumnak nevezünk (Takács, 2010).

A membránok közti mérettartomány alapján megkülönböztetünk mikroszűrést (MF), ultraszűrést (UF), nanoszűrést (NF), illetve fordított ozmózist (RO), amiket az alábbi táblázatban részletezek. (1. táblázat)

1. táblázat: *A membránműveletek típusai, az alkalmazott nyomáskülönbségek alapján (Forrás: Takács, 2010)*

Membránművelet	Mérettartomány	Vágási érték	Hajtóerő [bar]	Átengedett komponensek	Visszatartott komponensek
Mikroszűrés (MF)	0,1-10 µm	-	1-3	makromolekulák, ionok	lebegő részecskék
Ultraszűrés (UF)	0,01-0,1 µm	1-1000 kDa	3-8	ionok	makromolekulák
Nanoszűrés (NF)	1-10 nm	100-500 Da	1-20 (40)	egyértékű ionok	kétértékű ionok
Fordított ozmózis (RO)	0,1-1 nm	-	10-60 (100)	oldószer	egyértékű ionok

Az MF-től az RO-ig egyre kisebb a membrán pórusátmérője, ennek következtében kisebb lesz a részecskék átengedésére való képessége is. Viszont, ezzel párhuzamosan, a membrán anyagátadási ellenállása növekszik, így ugyanolyan fluxus eléréséhez növelni kell a hajtóerőt (Szép, 2013).

A mikroszűrés keményítő, pigmentek és egyes mikroorganizmusok, míg az ultraszűrés kolloidok, makromolekulák és vírusok átengedésére alkalmas inkább. Nanoszűrés esetében már nagyobb molekulák és cukrok is elválaszthatók, fordított ozmózissal pedig egyértékű ionok is, ami lehetővé teszi például a víz sótalanítását.

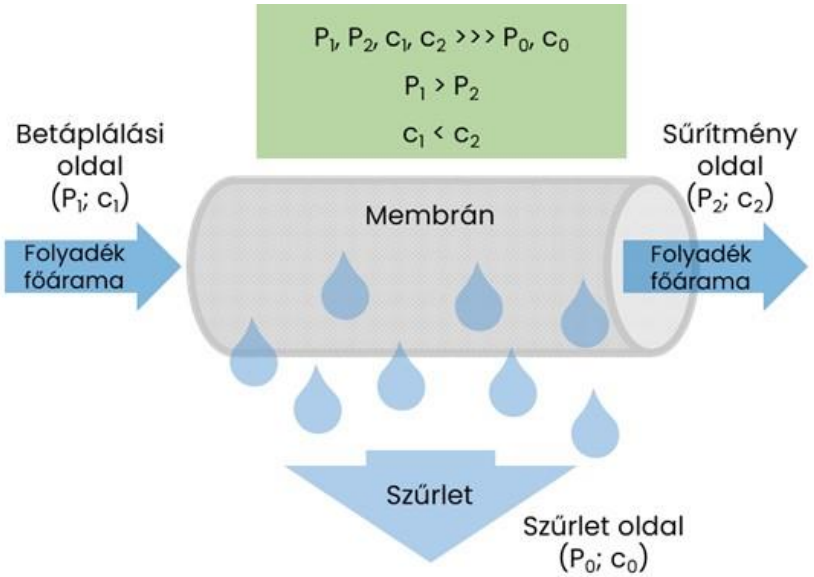
Kialakítás szempontjából két típust különítünk el a membránszűrés terén. Az egyik típus a statikus (dead-end), a másik pedig a keresztáramú (cross-flow). A statikus modulokat kis mennyiségű, magas minőségű termékek koncentrálására alkalmazzák. A keresztáramú

Szakdolgozat_Adamik Zétény Zalán

modulokat pedig az iparban alkalmazzák leginkább, amikor magas hozzáadott értékű termékek, mint például a fehérjék, polifenolok és bioaktív vegyületek kinyerésére törekednek (Yogarathinam et al., 2022).

A keresztáramú membránok folytonos működését a 2. ábrán szemléltetem részletesebben.

2. ábra: *Keresztáramú membránszűrésnél történő nyomás- és koncentráció változás (Forrás: Cseke, 2023)*



A 2. ábrán bemutatott folyamat során a szűrendő folyadékot a felülettel tangenciális módon átáramoltatjuk nagy áramlási sebességgel, miközben nyomáskülönbséget alakítunk ki a membrán betáplálási oldalán és a permeátum levezetési oldalán. Hajtóerő hatására a folyadék egy része átáramlik a membránon, míg a másik része a visszatartott komponenseket távolítja el a membrán felületéről, aminek hatására kisebb szűrőlepény alakul ki a felületen, mint dead-end szűrésnél. Ennek köszönhetően az eljárás folyamatos üzemben is alkalmazható, tekintettel arra, hogy a membrán nehezebben tömődik el, miközben a retentátum recirkulálását végezve a sűrítmény fokozatosan koncentráltabbá válik (Molina, 2003).

A membránszűrés teljesítményét, illetve hatékonyságát a fluxus, vagy más néven fajlagos szűrletteljesítmény meghatározásával szoktuk jellemezni. Röviden, a fluxus egységnyi membránfelületre vonatkoztatott (fajlagos) szűrletáram, tehát az a térfogat, amelyet a membrán egységnyi felülete egységnyi idő alatt átereszt.

Szakdolgozat – alán

Jellemző paraméter a membránoknál a vágási érték (MWCO – Molecular Weight Cut Off). Vágási érték alatt annak a molekulának a tömegét értjük Dalton-ban [Da] kifejezve, amelyet a membrán 90%-ban képes visszatartani.

A membránok hatékonyságára a visszatartást (R – Rejection), mint mérőszámot szokás használni, amit százalékos értékként adunk meg. Megmutatja, hogy milyen arányban található meg az adott visszatartott komponens a permeátumban.

2.3.1. Fordított ozmózis (RO)

A fordított ozmózis (RO – Reverse Osmosis) membránszűrési módszer egy nyomás által vezérelt membrán eljárás, amit széles körben alkalmaznak. Az RO membránszűrés technológiájának fejlődése, beleértve a fejlett membrán anyagtervezését, előkezelését, modul tervezését és folyamattervezését, illetve energetikai hasznosítását, ami gazdaságosabbá tette a folyamatot, így felkeltve az érdeklődést a kereskedelmi alkalmazása iránt is.

Az RO-nál alkalmazott transzmembrán nyomáskülönbség akár 10-60 (100) bar is lehet, míg a vágási érték nehezebben meghatározott érték, de általánosságban 10-100 Da közötti tartomány az elfogadott. Alkalmas egyértékű ionok, mint például az ásványi sók, illetve szerves és szervetlen szennyeződések kiszűrésére, de huminsavak, cukrok, fehérjék és laktóz visszatartására is használható. A felhasznált membrán anyaga lehet cellulóz acetát (CA) vagy kompozit poliamid (PA) is.

Az RO-nak jelenleg különböző felhasználási módszerei vannak, beleértve a szelektív elválasztási, tisztítási és koncentrálási folyamatokat egyaránt. Az élelmiszeriparban gyümölcs- és zöldséglevek sűrítésére (koncentrálásra), tej és tejsavó elősűrítésére, továbbá alkoholos italok alkoholmentesítésére alkalmazzák. Továbbá, organikus (szerves) keverékek elválasztására és szén-dioxid regenerációra is alkalmazták esszenciális olaj (illóolaj) extrakcióval, amihez szuperkritikus folyadékot használtak (Wenten et al., 2016).

2.4. Design Expert

A Design Expert® szoftver egy statisztikai program, amely lehetővé tesz számunkra kísérleti tervezéseket és elemzéseket, továbbá a kísérletek során keletkező adatbázisok feldolgozásában, statisztikai elemzésében, illetve modellezésében is segítséget tud nyújtani. A program hatékonyan hozzá tud járulni termékfejlesztési folyamatok optimalizálásához, illetve kísérletek hatékonyságának növeléséhez egyaránt.

Szakdolgozat_Adamik Zétény Zalán

A program hatékony eszközöket biztosít számunkra, hogy folyamatokra, keverékekre vagy faktorokra és összetevők kombinációjára is ideális kísérleteket dolgozhassunk ki. Segítségével, könnyen megállapítható, hogy statisztikailag mi az, ami szignifikáns eltérést okoz, illetve hogyan lehet a kapott eredményeket minél pontosabban modellezni. Emellett, rengeteg grafikon áll rendelkezésünkre, amelyek széles körű alkalmazásával könnyebb azonosíthatóságot tesz lehetővé, illetve egyszerűbbé teszik az értékek megjelenítésének eredményességét (Internet 2).

A Design Expert egy olyan szoftver, amely a többtényezős kísérletek tervezését és értelmezését segíti. A polimerfeldolgozásban a szoftver segítségével megtervezhetünk egy kísérletet, hogy megnézzük, hogyan alakul egy tulajdonság, például a szakítószilárdság a feldolgozási körülmények változtatásával. A szoftver a tervek széles skáláját kínálja, beleértve a faktoriális, tört faktoriális és összetett terveket. Képes kezelni a folyamatváltozókat, például a rotor sebességét, illetve a keverékváltozókat, például a gyanta arányát a műanyagkeverékben. Mindezek felett, a Design Expert számítógépen generált D-optimális terveket is kínál olyan esetekre, amikor a szabványos tervek nem alkalmazhatók, vagy amikor egy meglévő tervet szeretnénk kiegészíteni, mint például egy rugalmasabb modellhez való illesztés érdekében (Buxton, 2007).

A kísérletek számának, költségének, idejének és a fizikai erőfeszítéseknek a csökkentése miatt a Design of Expert (DOE) egy fontos statisztikai és matematikai eszköz az összetett és többtényezős mérnöki problémák megoldására. Tartalmazza a válaszfelületi módszertant (RSM), a faktoriális tervezést, illetve egyéb speciális módszereket egyaránt. A Central Composite Design (CCD), a D-optimális és a Box-Behnken módszer széles körben használt optimalizálási technikának bizonyul, amelyek előnye, hogy a többtényezős problémákat megfelelő számú kísérleti futtatással tökéletesítik. Ezen túlmenően pedig a módszerek korlátozzák a kísérletek számának megnövekedését, ha több tényezőt választunk a folyamatoptimalizáláshoz (Asghar, 2014).

A kísérletek által kapott eredmények elemzésére ANOVA (Analysis of Variance - Varianciaanalízis) alkalmazása szükséges annak érdekében, hogy meghatározzuk, van-e szignifikáns eltérés két adat között. Ennek érdekében Kéttényezős ANOVA (Two-way ANOVA) használata javasolt, amin belül F-tesztet végzünk, aminek meghatározásához el kell különíteni a rögzített (fix) és véletlenszerű (random) hatásmodelleket (Armstrong, 2002).

Szakdolgozat_Adamik Zétény Zalán

3. ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

A mérés helyszíne:

A kísérletem méréseihez a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet, Élelmiszeripari Műveletek és Folyamattervezés Tanszék laboratóriuma biztosított lehetőséget.

3.1. Vizsgált anyagok

A mérés során felhasznált galagonya (*Crataegus monogyna*) gyümölcsét Magyarország Bükk-vidékén megtalálható fáiról gyűjtöttem össze szeptember és október hónap között, tehát az optimális érési időszakukban.

3.2. Felhasznált vegyszerek

- Desztillált víz (Reanal, Budapest, Magyarország)
- 99%-os etanol (Reanal, Budapest, Magyarország)
- Metanol (Lach-ner, Neratovice, Csehország)
- 95%-os aszkorbinsav (Carl Roth GmbH, Karlsruhe, Németország)
- Vas(III)-klorid és nátrium-karbonát (Merck, Darmstadt, Németország)
- Nátrium-acetát (VWR Chemicals, Leuven, Belgium)
- Ecetsav (Sigma-Aldrich, St Saint Louis MO, Egyesült Államok)
- Galluszsav (Sigma-Aldrich, St Saint Louis MO, Egyesült Államok)
- 99%-os 2,4,6-Tris(2-piridil)-s-triazin (Sigma-Aldrich, St Saint Louis MO, Egyesült Államok)
- 37%-os HCl oldat (Reanal, Budapest, Magyarország)
- Folin-Ciocalteu reagens (Sigma-Aldrich, St Saint Louis MO, Egyesült Államok)
- FRAP reagens (Sigma-Aldrich, St Saint Louis MO, Egyesült Államok)

3.3. Módszerek

3.3.1. Extrakció

A fákról összegyűjtött ágakról gondosan eltávolítottam a gyümölcsöt, majd ezt követte egy alapos mosás és tisztítás, végül pedig óvatosan letöröltem a nedvességet a termések felületéről, figyelve arra, hogy ne sértsem meg a felszínét. Ezt követően a gyümölcsöket árnyékban szárítottam tovább, amíg el nem érték a 8,5%-os nedvességtartalmat, majd az extrakció folyamatáig száraz és hűvös helyen tároltam őket.

Szakdolgozat_Adamik Zétény Zalán

Az extrakció megkezdése előtt a szárított galagonya gyümölcsöket egy GM 200 típusú (Retsch GmbH, Németország) darálóval 10.000 rpm-en (Revolutions Per Minute – percenkénti fordulatszám) apró részekre aprítottam, annak érdekében, hogy javítsam az extrakció hatékonyságát. Ez azzal magyarázható, hogy az őrlés következtében megnöveljük a termések aktív felületét, így pedig jobb érintkezést érünk el az oldószerrel.

A galagonya gyümölcsének optimális extrakciós körülményeinek meghatározását követően (Alsobh et al., 2024), egy Single-Batch módszerrel valósítottam meg a folyamatot, amihez egy termosztátos vízfürdő (LAUDA ECOLINE E100), illetve egy keverő (OS20-S Electric LED Digital Overhead Stirrer) együttes alkalmazása járult hozzá. Az extrakció megfelelő körülményei 55 °C-os hőmérsékleten, 80 perc alatt, illetve 56 V/V%-os etanol oldószer (10 g gyümölcshöz, 100 ml oldószer szükséges) felhasználásával lett rögzítve. Ezt követően az oldatot leszűrtem, majd a kapott mintákat fagyasztóban tároltam -18 °C-on a további felhasználásig.

3.3.2. Membránszűrés (RO)

Az extrakciót követően a besűrítéshez membránszeparációt alkalmaztam, mivel jó minőségű végterméket tudok vele előállítani, energiatakarékos módszernek tekinthető, illetve nem szükséges hozzá semmilyen adalékanyag, emellett gyors folyamatot tud biztosítani módszerünkhöz. A kivitelezéshez egy DDS membránszűrő berendezést (LAB 20-0.72, Dánia) alkalmaztam, amibe fordított ozmózis (RO) membrán volt beépítve (Trisep X20), mely membrán egy teljesen aromás poliamid-karbamid, fejlett kompozit lapmembrán. A keresztáramú besűrítéshez használt transzmembrán nyomáskülönbséget 30 bar-on, míg a folyadék hőmérsékletét 35 °C-on tartottam a mérés során, míg a recirkulációs áramlási sebességet 400 L/h térfogatárammal határoztam meg. A folyamat során minden egyes 200 ml szűrlet összegyűjtését követően feljegyeztem az eltelt időt, majd minden 400 ml permeátum összegyűlése után mintát is vettem. A besűrítés előtt és után, mindig tiszta vizes átmosást végeztem, aminek fluxusát szintén lejegyeztem, hogy megállapíthassam a membrán-, illetve az eltömődés ellenállását egyaránt. Végezetül, a polarizációs réteg teljes eltávolításához desztillált vizes öblítést alkalmaztam, miután a koncentrálási lépéseket elvégeztem.

A membránszűrés hatékonyságát két tényezővel jellemeztem, melyek közül az egyik a fluxus (fajlagos szűrletteljesítmény), a másik pedig a besűrítési arány volt.

Szakdolgozat_Adamik Zétény Zalán

A fluxus egységnyi membránfelületre vonatkoztatott (fajlagos) szűrletáram, vagyis az a térfogat, amelyet a membrán egységnyi felülete egységnyi idő alatt átereszt (1. képlet):

$$J = \frac{V}{A \cdot t} \quad \textbf{(1)}$$

ahol a J a fluxus (fajlagos szűrletteljesítmény) [L/(m^2·h)], az A a membrán szűrőfelülete [m^2], a V a permeátum térfogata [L], a t pedig a szűrési idő [h] (Szép, 2013).

Sűrítési arány (Volume Reduction Ratio – VRR) alatt a betáplált folyadék térfogatának, illetve adott időpillanatban a sűrítmény térfogatának az arányát értjük (2. képlet):

$$VRR = \frac{V_b}{V_b - V_p} \quad \textbf{(2)}$$

ahol a VRR [m^3/m^3] a besűrítési arány, a V_b a betáplált folyadék térfogata [mL], illetve a V_p az elvezetett permeátum mennyisége [mL], adott időpillanatban (Szép, 2013).

Ezeken kívül a permeáció mechanizmusát is jellemeztem, amit a transzmembrán nyomáskülönbség (TMP) szabályozásával érhetünk el, ami a membrán betáplálási, illetve a retentátum elvezetési oldala között fellépő nyomáskülönbség (3. képlet):

$$TMP = \frac{p_{be} + p_{ki}}{2} - p_0 \quad \textbf{(3)}$$

ahol a TMP a transzmembrán nyomáskülönbség [bar], a p_{be} a betáplálási oldalán-, míg a p_{ki} a retentátum elvezetési oldalán mért nyomás [bar], a p_0 pedig a permeátum oldalán mérhető nyomás [bar] (Szép, 2013).

Miután elvégeztem a besűrítéseket, a kapott mintákat analitikai vizsgálatoknak vettetem alá, ahol összes polifenol-tartalmat mértem (TPC – Total Phenolic Content), illetve FRAP (Ferric Reducing Ability of Plasma) módszerrel az antioxidáns kapacitást is meghatároztam.

3.3.3. Összes polifenol-tartalom (TPC) mérése Folin-Ciocalteu reagens segítségével

A kivonatokban található összes fenoltartalom (TPC – Total Phenolic Content) meghatározásához a Singleton és Rossi (1965) által megfogalmazott módszert vettem alapul.

Ezen módszer lényege, hogy az általam vizsgált galagonya kivonatok antioxidáns tartalommal rendelkezhetnek, amiktől a felhasznált Folin-Ciocalteu reagensnek a sárga színű Mo^{6+} ionja elektront vesz fel, ezáltal kék színű Mo^{5+} ionná redukálódik. Az így létrejött kék színű termék pedig spektrofotometriás módszerrel (λ=765 nm) detektálhatóvá válik. A módszer előnye, hogy olcsó, egyszerű és könnyen reprodukálható, illetve nem csak fenolra, hanem

Szakdolgozat_Adamik Zétény Zalán

vízoldható, elektronleadásra képes antioxidánsok meghatározására is alkalmas. Viszont, a hátrányai közé lehet sorolni, hogy nem szelektív a polifenolokra, illetve lúgos pH-n zajlik a reakció (Hegedűs et al., 2013).

A mérés végrehajtásához elkészített vegyszerek:

- Hígítószer, ami metil-alkohol és desztillált víz 80:20 arányú elegye;
- Folin-Ciocalteu oldat, ami Folin-Ciocalteu reagensnek az 1:10 arányú hígítása desztillált vízzel;
- Nátrium-karbonát oldat, amihez 300,0 ml desztillált vízben 22,26 g vízmentes nátrium-karbonátot oldottam fel, így kapva egy 0,7 M-os koncentrációjú oldatot;
- Galluszsav oldat (kalibráláshoz), ahol 3 M galluszsav készítéséhez 10,0 ml metil-alkohol desztillált víz elegy (4:1 arány) 5,1 mg szilárd galluszsavat kellett feloldani.

A kalibráció elvégzése:

A mérés elkezdéséhez egy 9 pontos kalibrációs sorozatot hoztam létre, amihez a galluszsav oldatot használtam fel, ami 2 darab vak mintát is tartalmazott. A 2. táblázatban bemutatom, hogy a kémcsövekbe milyen mennyiségeket mértem ki pipetta segítségével.

2. táblázat: *Az összes polifenol-tartalom meghatározásához felhasznált kalibrációs oldatsorozat (Forrás: saját munka)*

Kémcső sorszáma	Folin-Ciocalteu oldat (µL)	Metanol-DV (µL)	Galluszsav oldat (µL)	Nátrium-karbonát (µL)
1.	2500	500	0	2000
2.	2500	500	0	2000
3.	2500	450	50	2000
4.	2500	400	100	2000
5.	2500	350	150	2000
6.	2500	300	200	2000
7.	2500	250	250	2000
8.	2500	200	300	2000
9.	2500	100	400	2000

A reakció leállításához, a galluszsav és a metanol-víz elegy összekeveredése után, 1 perc elteltét követően a kémcsövek tartalmához nátrium-karbonátot adtam hozzá, majd ezután, egy 5 perces periódusra, 50 °C-os vízfürdőbe helyeztem a mintáimat. Az idő lejártát követően, egy Hach kézi spektrofotométer segítségével megmértem a minták abszorbanciáját, amit első körben desztillált vízre nulláztam le. A mérések során tökéletesen észrevehető volt, hogy a

Szakdolgozat_Adamik Zétény Zalán

galluszsav mennyiségének növekedésével arányosan, a minták kék színének erőssége is növekedett. Ezen megfigyelést pedig a kapott abszorbancia értékek is alátámasztották.

A minta előkészítése:

Az Eppendorf-csövekbe, a kiengedést követően mind a három teljesítményhez tartozó mintából (betáplált, permeátum, retentátum) 2-2 ml-t pipettáztam. Ezt követően a mintákat centrifugáztam, mely műveletet 20 percen keresztül, 6000 rpm-en végeztem (Hermle Labortechnik Z 206 A kompakt centrifuga), hogy a szilárd és a folyékony fázist megfelelően elkülöníthessem. A reakció megkezdéséhez, a minták felülúszójából 100-100 µL-t pipettáztam a kémcsövekbe korábban összemért reakcióelegyekhez. Végül, a centrifugacsövekben maradt mintákat fagyasztva tároltam az újabb felhasználásig.

A reagens elkészítése:

Ahhoz, hogy a minták összes polifenol tartalmát meghatározhassam, a következő vegyületeket kellett elegyítenem egymással a kémcsövekbe: 2500 µL Folin-Ciocalteu oldat, 400 µL metil-alkohol – desztillált víz elegy (4:1 arány), illetve 100 µL minta, végül pedig a reakció leállításához (1 perc elteltét követően) 2000 µL nátrium-karbonát (0,7 M) oldat. A végtérfogat így 5000 µL lett és három párhuzamos mérést végeztem el az összes minta esetében egyaránt. Ezt követően az összemért mintákat 5 percre egy 50 °C-os vízfürdőbe helyeztem, majd ezután a kémcsövek teljes tartalmát átöntöttem küvettákba. A reakció lezajlását követően kék színűvé vált az oldat, amiknek az abszorbanciáját fotometriásan tudtam meghatározni λ=760 nm-en. A párhuzamos mérésekből átlagot vontam, majd a kalibrációs egyenes segítségével az összes polifenol-tartalmat is meghatároztam, amit mg galluszsav ekvivalens/L szárazanyag-tartalomban adtam meg.

$$TPC = \frac{A}{m} \cdot \frac{V_ö}{V_m} \cdot HF \qquad \textbf{(4)}$$

ahol a TPC az összes polifenol-tartalom (mg galluszsav ekvivalens/g), az A az abszorbancia érték, az m a kalibrációs egyenes meredeksége, a $V_ö$ az összes reakciótérfogat értéke (µL), a V_m a minta térfogatának értéke (µL), illetve HF a hígítás értéke (Hegedűs et al., 2013).

3.3.4. Az antioxidáns aktivitás meghatározása FRAP módszer segítségével

A galagonya terméséből készített extraktum antioxidáns aktivitását Benzie és Strain (1996) módosított módszere alapján hajtottam végre, ami a vasredukálóképességet vizsgálja.

A metodika lényege, hogy ferri-ionokat (Fe^{3+}) az antioxidánsok ferro-ionokká (Fe^{2+}) tudják redukálni. A reakció során a TPTZ (2,4,6-tripiridil-S-triazin) komplexképzővel oldatban

Szakdolgozat_Adamik Zétény Zalán

tartott ferro-ionok keletkeznek, amik kék színű termék létrehozására képesek. Ez a színváltozás spektrofotométer segítségével (λ=593 nm) detektálható. A módszer előnyei közé tartozik, hogy gyors, olcsó és egyszerűen reprodukálható, hátrányai közé pedig bizonyos esetekben, a reakció fiziológiai pH alatti tartományban való működése, illetve a hosszabb reakcióidő tartozik (Hegedűs et al., 2013).

A mérés végrehajtásához elkészített vegyszerek:

- Acetát-puffer, ami 3,10 g kristályvizes nátrium-acetátot és 16,0 ml ecetsavat (desztillált vízzel 1000 ml-re kiegészítve mérőlombikban) tartalmaz, aminek pH-ja 3,6, koncentrációja pedig 300 mM;
- Triazin-oldat (TPTZ), ami egy 50 ml-es mérőlombikban 0,1562 g szilárd 2,4,6-tri (2-piridil)-s-triazint, illetve 168,0 µl sósavat (37%-os oldat) tartalmazott, amit desztillált vízzel jelre is töltöttem;
- Vas-klorid oldat, ami 0,270 g kristályvizes vas (III)-kloridot ($FeCL_3 \cdot 6H_2O$) és 50 ml desztillált vizet tartalmaz, így egy 20 mM-os koncentrációjú oldatot kapva;
- Aszkorbinsav-oldat (kalibrációhoz), ami 17,163 mg szilárd aszkorbinsav port és 10,0 ml desztillált vizet tartalmaz, ezzel elérve egy 10 mM koncentrációjú oldatot, majd egy 1 mM koncentrációjú elegyet készítve 1 ml 10 mmólos aszkorbinsav-oldathoz 9 ml desztillált vizet mértem ki;
- FRAP-reagens, amit közvetlen mérés előtt kellett elkészíteni (bomlékonysága miatt), összekeverve 250 ml acetát-puffert, 25 ml vas-klorid oldatot és 25 ml TPTZ-oldatot (a reagenst sötét üvegben, alufóliával körbetekerve tároltam).

A mérés megkezdését a kalibrációs görbe felvételével indítottam, amihez először kimértem a szükséges oldatokból a megfelelő mennyiségeket a 3. táblázat alapján.

3. táblázat: *A kalibrációs görbéhez szükséges oldatok (Forrás: saját munka)*

Kémcső sorszáma	FRAP-reagens (µl)	Aszkorbinsav-oldat (µl)	Desztillált víz (µl)
1.	3000	0	100
2.	3000	0	100
3.	3000	20	80
4.	3000	40	60
5.	3000	60	40
6.	3000	80	20
7.	3000	100	0

Szakdolgozat_Adamik Zétény Zalán

Miután hozzáadtam az aszkorbinsav-oldatot is a kimért mennyiségekhez, 5 perc elteltét követően a Hach kézi spektrofotométer segítségével megmértem az abszorbancia értékeket 593 nm-en. A mérés kezdetekor desztillált vizet használtam a nullázáshoz.

A minta előkészítése:

Az Eppendorf-csövekbe kiengedett, majd tárolt mintákat centrifugáltam 6000 rpm-en, 20 percig (Hermle Labortechnik Z 206 A kompakt centrifuga). Ezt követően a minták felülúszójából kimértem 40-40 µL-t pipettával és a reakcióelegyekhez adtam, hogy megkezdhessem a mérést.

A reagens elkészítése:

Ahhoz, hogy meghatározhassam a mintáim antioxidáns aktivitását, a következő vegyületeket kellett összemérnem a kémcsövekbe: 3000 µL FRAP-reagens, 60 µL desztillált víz, illetve 40 µL minta. Ezt követően az 5 perc letelte után, Hach kézi spektrofotométerrel 593 nm-en meghatároztam az abszorbanciákat, amit előtte a kalibrációs sor két vakmintájára nulláztam. Minden egyes minta esetén három párhuzamos mérést hajtottam végre, majd ezekből átlagot vontam és a kalibrációs egyenes egyenletével megadtam az antioxidáns tartalmukat mg aszkorbinsav ekvivalens/L mértékegységben.

$$FRAP = \frac{A+c}{m} \cdot \frac{V_ö}{V_m} \cdot HF \qquad \textbf{(5)}$$

Ahol a FRAP az antioxidáns aktivitás értéke (mg aszkorbinsav ekvivalens/L), az A az abszorbancia értéke, c a kalibrációs egyenes tengelymetszetének értéke, m a kalibrációs egyenes meredekségének értéke, $V_ö$ az összes reakciótérfogat (µL), V_m a minta térfogata (µL), illetve HF a hígítás értéke (Hegedűs et al., 2013).

3.3.5. A folyamat értékelése és modellezése (Design Expert®)

A folyamat értékelését a Design Expert® szoftver próbaverziójának segítségével végeztem el, ahol első lépésként beállítottam, hogy Central Composite Design módszert szeretnék alkalmazni, amit a „Response Surface", „Randomized" menüpont alatt tudtam kiválasztani. Ezt követően kiválasztottam, illetve beállítottam az értékeléshez szükséges paramétereket:

- Az „A" pontban a hőmérséklet szerepelt, Celsius-fokban, ahol a legalacsonyabb érték 25, míg a legmagasabb 45 volt;
- A „B" pontban a nyomást tűntettem fel, ami bar-ban volt megadva és a legalacsonyabb 20, a legmagasabb érték pedig 40 volt;

Szakdolgozat_Adamik Zétény Zalán

- A „Points” menüpontban beállítottam, hogy a „Center points” 3-as értéket vegyen fel, míg az „Alpha”-nak a „Face Centered” pontja legyen kipipálva;
- A „Response” pontban pedig a TPC és FRAP eredményeit tüntettem fel, mg/L mértékegységgel.

Az így kapott táblázatot (4. táblázat) kitöltöttem a korábban kapott eredményeknek megfelelően a TPC és a FRAP módszernél egyaránt.

A táblázat kitöltését követően a kiértékelést az „Analysis” fül megnyitásával tudtam folytatni, ahol számos lehetőség nyílt meg a folyamat megfelelő végrehajtásához. Ezen lehetőségek a következők:

- A „Transform” fül alatt arra van lehetőség, hogy különböző függvény transzformációkat hajtsunk végre a rendelkezésünkre álló adatokból.
- A „Fit Summary” pont esetén lehetőségünk van a program alapján összegzett modellek illeszkedésének megfigyelésére. Számunkra a „Suggested” modell a legjobb választás, mivel az adja a legmagasabb rendű polinomot, továbbá ennek a legjobb a szignifikancia értéke.
- A „Model” felület alatt lehetőségünk nyílik arra, hogy kiválasszuk mely tényezők azok, amelyeket szeretnénk a modellbe helyezni. Ajánlott a nem szignifikáns elemeket kivenni, hogy minél pontosabb és jól értelmezhető modellt kaphassunk. Az én esetemben az „Intercept”, az „A” (hőmérséklet), a „B” (TMP), az „AB”, az „A^2”, illetve a „B^2” került kiválasztásra.
- Az „ANOVA” fül alatt kapunk információt a varianciaanalízisről (jelen esetben a kvadratikus modelléről), ahol a statisztika illeszkedéséről, szignifikanciájáról, koefficienseiről kapunk összegző táblázatokat, mely adatokból tudjuk levonni a következtetéseket a kísérletünk eredményeiről.
- A „Diagnostics” pontban láthatjuk a különböző diagramok („Normal plot”, „Box-Cox”, „Cook’s Distance”) segítségével, hogy mennyire ideális a mérésünk, hiszen számos görbe mutatja az adataink elhelyezkedését, szórását, illetve esetleges kiugró helyzetét.
- Végezetül, a „Model Graphs” menüpontban tudjuk ábrázolni a grafikai modellt. Itt többféle megjelenítés közül tudunk választani, tekintettel arra, hogy egy tényezőt, vagy többet vizsgálunk, 2D-s vagy 3D-s megjelenítést szeretnénk, illetve lehetőség van a modell színskálájának beállítására is. Mérésem során „3D Surface” modellt

Szakdolgozat_Adamik Zétény Zalán

alkalmaztam, mivel ezzel tudtam a legpontosabban és leginformatívabban bemutatni kísérletemet, amit a következő fejezetben bővebben is részletezni fogok.

A válaszértékek optimalizálását a „Optimization” pontban végeztem el, ahol „Numerical”, azaz numerikus módszert alkalmaztam. Itt beállítottam a „Goal”, azaz a cél legörgető skáláján, hogy a hőmérséklet, illetve a transzmembrán nyomáskülönbség esetén az „in range” beállítás, míg a TPC és a FRAP esetében a „maximize” érvényesüljön. Végül, a „Solutions” fül alatt megkaptam az optimalizálást összegző ábrákat és értéket.

Szakdolgozat_Adamik Zétény Zalán

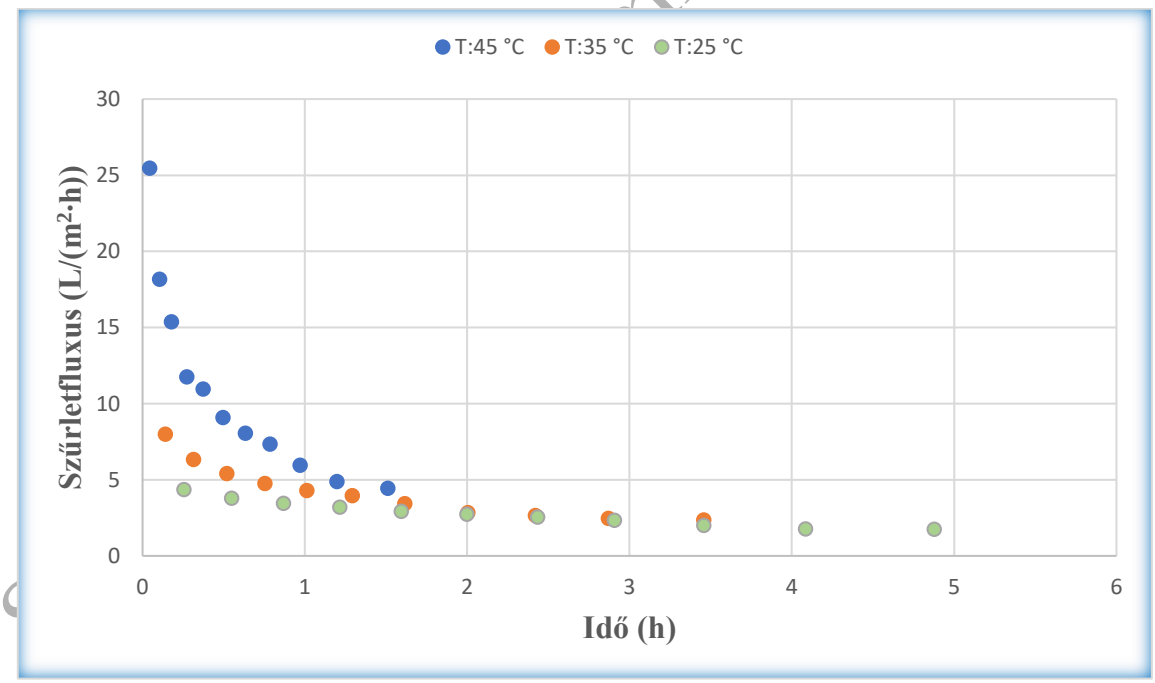
4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

4.1. A membránszűrésből származó eredmények összehasonlítása

A membránszűrés során a betáplált oldat mennyisége 2250 mL, amin belül a szűrlet 2000 mL, míg a sűrítmény 250 mL volt. A fordított ozmózis módszer elvének megfelelően, a visszatartáshoz egy X20-as membránt alkalmaztam, aminek felülete 0,18 m^2 volt. Az alkalmazott hőmérséklet az optimum esetén 35 °C, a nyomás pedig 40 bar volt. Az alkalmazott recirkulációs áramlási sebességet 400 L/h sebességre állítottam be.

Az mérés során elsősorban a hőmérséklet hatását az idő és a VRR függvényében mutattam be (3. ábra és 4. ábra), majd ezt követően az alkalmazott legmagasabb hőmérséklet és nyomás (45 °C, 40 bar) beállítások során kapott tisztavíz fluxusokat mutatom be. Ezután az analitikai mérések értékelését, továbbá az optimális paraméterek mellett kapott eredményeket részleteztem, végezetül pedig a membrán eltömődését és ellenállását hasonlítottam össze.

3. ábra: *A hőmérséklet hatása a galagonya extraktum besűrítésére az idő függvényében 20 bar nyomáson (Forrás: saját munka)*

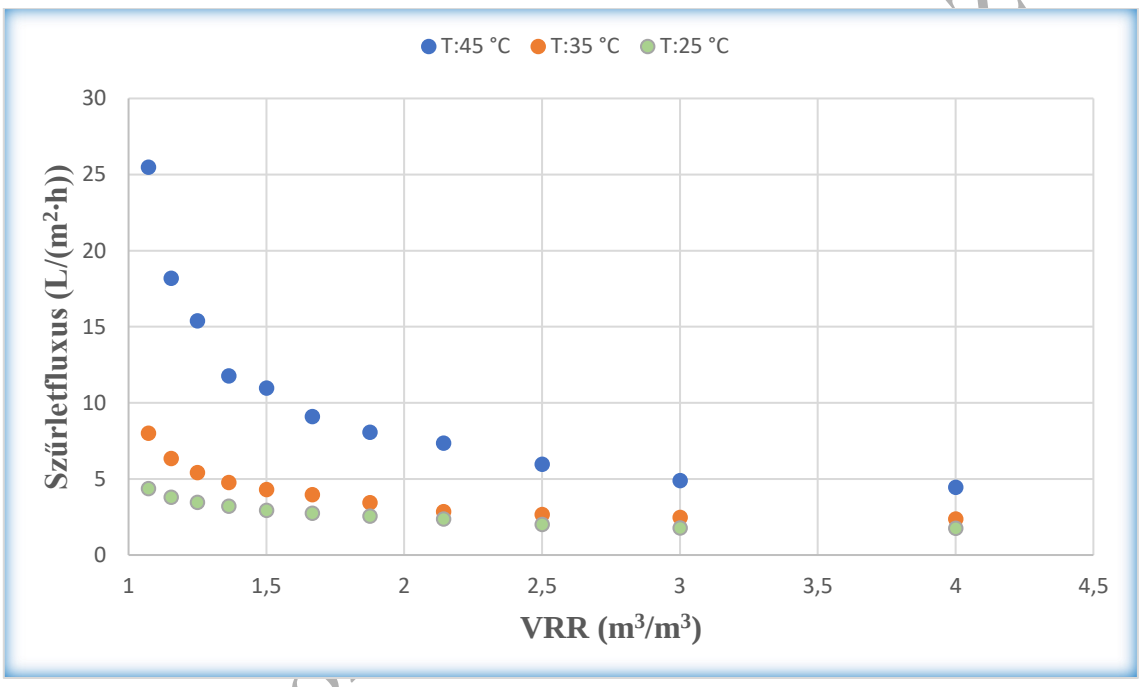


A 3. ábrára tekintve megfigyelhetjük, hogy a fluxus exponenciálisan csökkenő tendenciát mutat, viszont egyértelműen látható az is, hogy a különböző hőmérsékletek esetén, különbözőek ezek a lefutások. Ez a jelenség azzal magyarázható, hogy a folyamat során a membrán pórusai eltömődnek, ennek következtében pedig csökkenő fluxus figyelhető meg. Továbbá, az is megállapítható a diagramon, hogy a csökkenések mértéke is egyre kisebb, ezen

történés magyarázata pedig, hogy miután a membrán pórusai eltömődnek, a fluxus állandó értéket fog felvenni. Végezetül, tökéletesen látható, hogy a hőmérséklet igen nagy befolyással van a fajlagos szűrletteljesítményre, hiszen minél magasabb a hőmérséklet, annál kevesebb időre van szükség a besűrítéshez (ugyanakkora sűrítési arány mellett).

Az előző ábrát mintául véve, szeretném bemutatni a hőmérséklet hatását a besűrítési arány függvényében is, amit a 4. ábra mutat be.

4. ábra: *A hőmérséklet hatása a galagonya extraktum besűrítésére a VRR függvényében 20 bar nyomáson (Forrás: saját munka)*



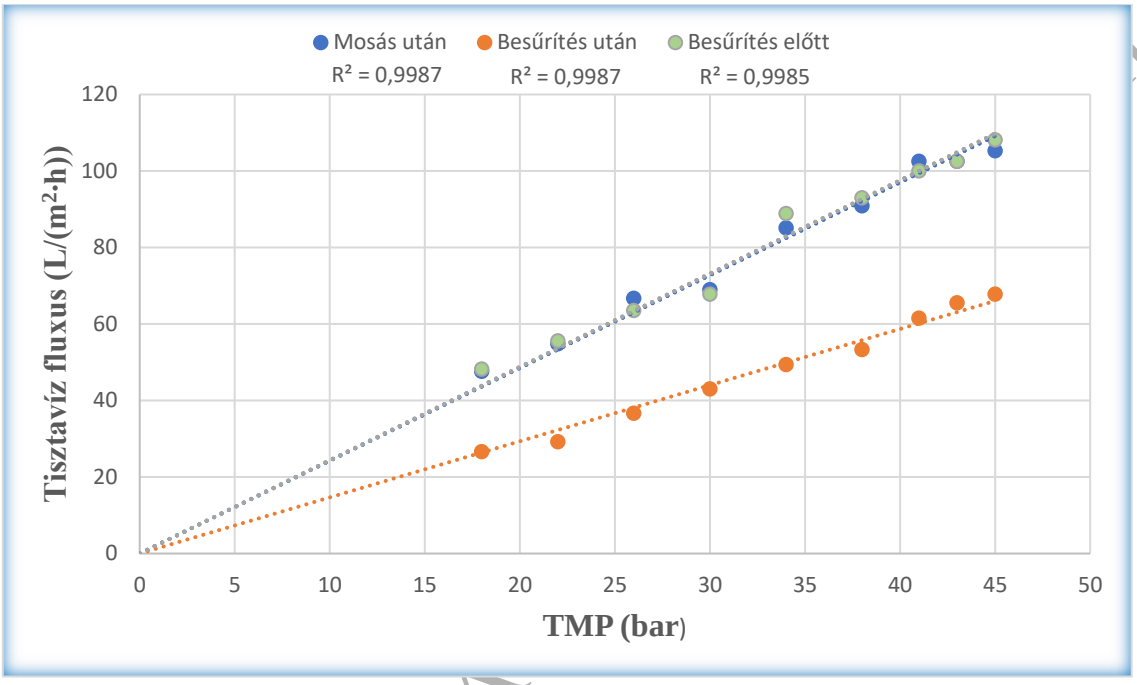
Bár ezen diagram is tökéletesen ábrázolja számunkra a hőmérsékletváltozások okozta eltéréseket, viszont azt is észrevehetjük, hogy bizonyos esetekben nagyobb a különbség mértéke az időhöz képest. A VRR függvényében a fluxusnál jelentős csökkenés, míg a besűrítési arány terén jelentős növekedés figyelhető meg. Ez a jelenség abból következik, hogy a besűrítési arány a betáplált oldat, továbbá a sűrítmény mennyiségének az aránya, adott pillanatban. Ezentúl, a 4. ábra tökéletesen szemlélteti, hogy a VRR értékei exponenciálisan növekvő tendenciát mutatnak. Megállapítható továbbá itt is, hogy a hőmérséklet emelkedése jelentősen befolyásolja a fajlagos szűrletteljesítmény eredményeit.

A membránszűrő berendezést a besűrítések előtt átmostam nátrium-hidroxid oldattal, majd ezt követően meghatároztam desztillált vizet felhasználva a tisztavíz fluxust az átmosás után, illetve a besűrítés előtt is, amit a transzmembrán nyomáskülönbség (TMP) függvényében

Szakdolgozat

ábrázoltam. Miután elvégeztem a besűrítést, újabb tisztavíz fluxust határoztam meg, ugyanolyan nyomásérték beállításokat alkalmazva, ezzel következtetve a folyamat során bekövetkező membráneltömődésre (5. ábra).

5. ábra: *A tisztavíz fluxus a transzmembrán nyomáskülönbség (TMP) függvényében a legmagasabb beállítások mellett (Forrás: saját munka)*



A tisztavíz fluxus mérése során a nyomásértékeket a betáplálási oldalon 40 bar nyomásig 1-4 bar közötti tartományban, míg 40 bar felett már 1-2 bar tartományban határoztam meg, majd ezt követően, megmértem a beállított értékekhez tartozó 200 mL szűrlet összegyűléséhez szükséges időt. A mosás után, illetve a besűrítés előtt nagyon hasonló eredményeket kaptam, ami bizonyítja, hogy sikeres volt a membrán tisztítása a besűrítés után. Ezen kívül, az 5. ábrán tökéletesen látható, hogy az alkalmazott membrán pórusai jelentősen eltömődtek a koncentráció során, mivel a fluxus értékek alacsonyabbak, mint az elválasztási művelet előtt. Következésképp, egyértelműen megállapítható, hogy a besűrítéseket követően minden esetben szükségünk van az átmosásra, hiszen csak ezzel tudjuk elérni a membrán megfelelő regenerálását.

Szakdolgozat_A

4.2. Az összes polifenol-tartalom, illetve antioxidáns aktivitás meghatározása és modellezése (TPC és AA)

A kiértékelésnél az összes mérésem során kapott retentátum eredményeket vettem alapul az optimalizáláshoz, amiket a 4. táblázatban foglaltam össze. A folyamatot a Design Expert® szoftver próbaverziójával végeztem el.

4. táblázat: *A galagonya extraktum kísérletének eredményei (Forrás: saját munka)*

Hőmérséklet (°C)	Nyomás (bar)	TPC (mg/L)	AA (mg/L)
35	40	1057,69	575,85
35	30	810,48	444,44
25	40	770,78	434,51
45	20	303,20	170,54
35	20	721,93	404,73
25	30	420,29	225,43
25	20	401,68	218,43
45	30	334,21	179,30
45	40	594,76	317,12
35	30	830,49	455,54
35	30	834,37	456,71

A 4. táblázatban feltüntetett értékekből tökéletesen megállapítható, hogy a 35 °C-ot és 40 bar-t alkalmazott paraméterek mellett kaptam a legjobb eredményeket, ami 1057,69 mg/L volt a TPC, illetve 575,848 mg/L az AA esetében.

Ezt követően, a Design Expert szoftver segítségével varianciaanalízist végeztem, aminek eredményeit az 5. táblázatban foglaltam össze.

5. táblázat: *A galagonya extraktum ANOVA táblázata (Forrás: saját munka)*

Forrás	Becsült koefficiens		F-értékek	
-	TPC	FRAP	TPC	FRAP
„Intercept” (AA)	809,18	442,81	144,31****	90,37****
A-Hőmérséklet	-60,50	-35,24	20,70**	14,55**
B-TMP	166,22	88,97	156,28****	93,08****
AB	-	-226,32	-	-
A^2	-408,053	61,60	399,8****	253,85****
B^2	104,5	442,81	26,23**	18,75**
„Residual” (SS)	6329,81	3041,55	-	-
„Lack of Fit” (SS)	6028,56	2974,10	9,13	16,09
Többszörös R^2	0,98	0,98	-	-
Beállított R^2	0,98	0,97	-	-
Megjósolt R^2	0,95	0,93	-	-
Standard deviáció	32,48	22,51	-	-
Átlag	643,62	352,96	-	-
C.V. %	5,05	6,38	-	-

Szignifikancia kódok: ’****’ $p < 0,0001$; ’***’ $p < 0,001$; ’**’ $p < 0,01$; ’*’ $p < 0,05$.

Szakdolgozat_Adamik Csétény Zalán

A TPC és az AA (Antioxidáns aktivitás) kísérleti adatok alapján, a modell magas szignifikancia szintet ($p < 0,0001$) mutatott. Ezen kívül, a varianciaanalízis (ANOVA) szignifikáns lineáris, illetve kvadratikus hatásokat demonstrált a hőmérséklet és transzmembrán nyomáskülönbség (TMP) esetében. Az illeszkedés hiánya („Lack of Fit" (SS)) esetén nem szignifikáns értékeket kaptunk, ami jó számunkra, mert ez azt jelenti, hogy a válaszfaktorok változásai nem külső zaj hatására következtek be. A modell jól illeszkedett a változók térbeli hatásának a TPC-re adott ($R^2 = 0,98$) válaszánál, illetve a AA-ra adottnál ($R^2 = 0,98$) egyaránt.

Mindezek mellett, a regressziós koefficiensek p értékeivel összhangban, a hőmérséklet lineáris tagjának negatív szignifikáns ($p < 0,01$) hatása volt a TPC-re. Továbbá, a kvadratikus hőmérsékleti tag (A^2) is szignifikánsan befolyásolt minden tényezőt ($p < 0,0001$), ennek ellenére, az alkalmazott transzmembrán nyomáskülönbség (B-TMP) lineáris tagja magas szignifikáns hatással bírt ($p < 0,0001$) mind a kettő (TPC és AA) alkalommal. Szemléltetésként, a TMP kvadratikus tagja (B^2) kevésbé jelentett szignifikáns hatást a TPC-re, illetve a AA-ra ($p < 0,01$). Végül, a nem szignifikáns tényezők eltávolítása után a TPC és az AA másodrendű polinomegyenleteit a következőképpen illesztettem:

$$TPC = -3536,6 + 279,62 \cdot A - 46,10 \cdot B - 4,08 \cdot A^2 + 1,04 \cdot B^2 \quad \textbf{(6)}$$

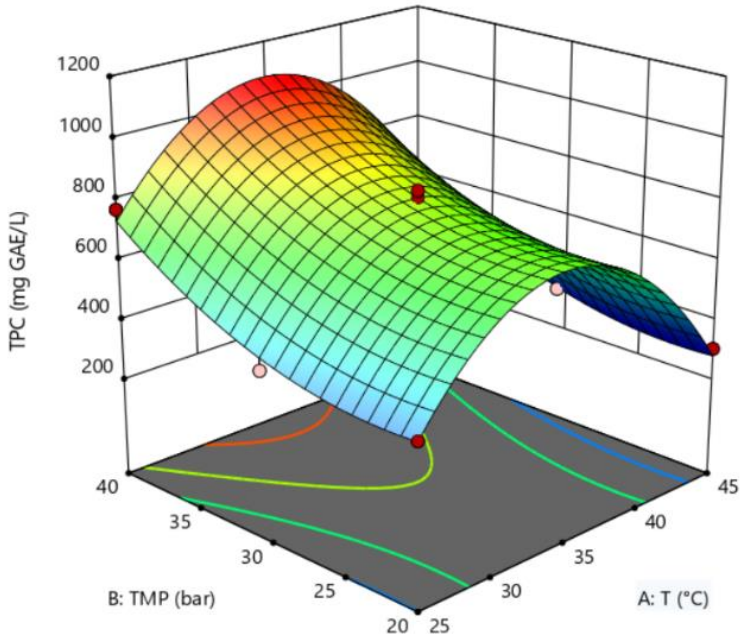
$$AA = -1918,84 + 154,90 \cdot A - 28,06 \cdot B - 2,26 \cdot A^2 + 0,61 \cdot B^2 \quad \textbf{(7)}$$

Ahol „A" a hőmérséklet (°C), amit 25-45 skálán alkalmaztam, illetve B a TMP (bar), amit 20-40 közötti tartományban használtam.

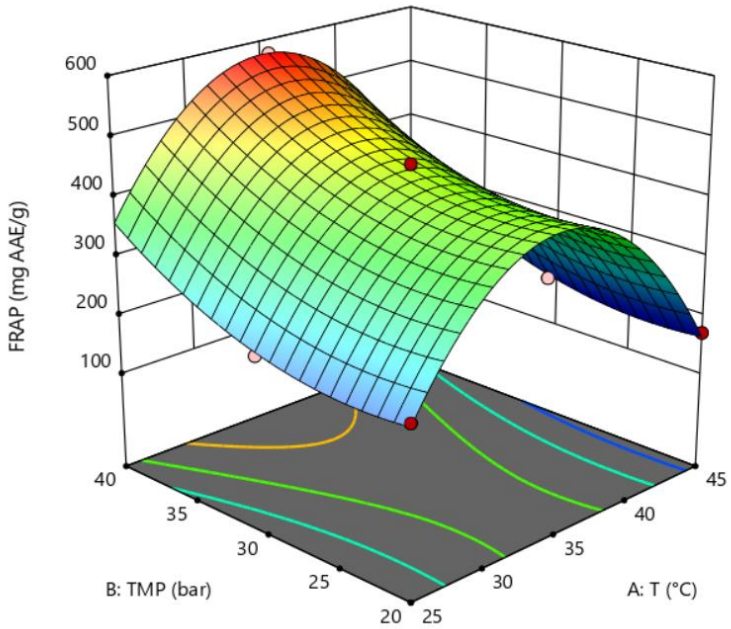
Az ANOVA teszt során, az illeszkedés hiánya pontnál kapott eredmények szerint, a modell megfelelően illeszkedett a kísérleti adatokhoz ($p < 0,05$) minden válaszváltozó esetében (TPC és AA). A vizsgált paraméterek hatását a 6. ábra a TPC, míg a 7. ábra az AA esetén szemlélteti 3D-s diagram bemutatásával, ahol a kirajzolódott görbület a hőmérséklet és a transzmembrán nyomáskülönbség közötti kvadratikus összefüggéssel magyarázható. Ezen kívül megállapítható, hogy a TPC és az AA értéke a hőmérséklet emelkedésével arányosan növekedett (-1) és (0) között, viszont ezután a hőmérséklet növekedése (0) és (1) között a válaszérték csökkenését eredményezte. Ez azzal magyarázható, hogy a kis hőmérsékleten végzett besűrítés jóval hosszabb ideig tartott (3. ábra), mint a nagyobb hőmérsékleten végzett koncentrálás, így a minta jóval nagyobb hőterhekést kapott. A legnagyobb alkalmazott hőmérséklet pedig az értékes komponensek bomlását idézte elő. A nyomás növelése mindkét esetben a TPC és az AA növekedését eredményezte.

Szakdolgozat_Adamik Zétény Zalán

6. ábra: A galagonya extraktum TPC tartalmának szoftveres értékelése (Forrás: saját munka)



7. ábra: A galagonya extraktum antioxidáns aktivitásának szoftveres értékelése (Forrás: saját munka)



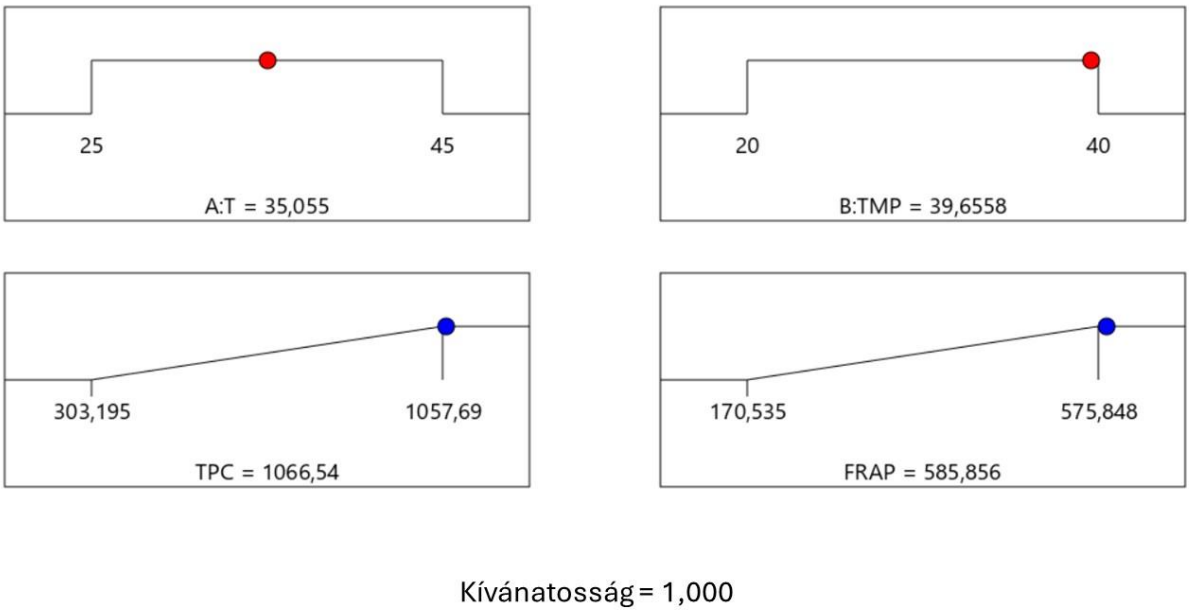
Az említett számadatok esetében a (-1) a legalacsonyabb hőmérsékletet vagy TMP-t, a (0) a középértéket, míg az (1) a legmagasabb értéket jelenti a programban.

A válaszértékek optimalizálása:

A kívánatossági függvény (DF – Desirability Function) egy széles körben alkalmazott módszer, amit a változók kombinációjának meghatározására használnak a több válaszérték optimalizálása érdekében. Ennek az eljárásnak főként az a célja, hogy olyan működési feltételeket találjunk, amelyek a bioaktív vegyületek maximális hozamát és antioxidáns aktivitását biztosítják (Costa et al., 2011).

Ezáltal, a galagonya gyümölcskivonatok sűrítési folyamatának optimális körülményei (T = 35,055 °C, TMP = 39,6558 bar) a kiértékelt tartományon belül voltak (8. ábra). Ezen körülmények között pedig a kísérleti eredmények megegyeztek a C.V. variációs együtthatóval becsült értékekkel egyaránt (5,05% és 6,38%).

8. ábra: *A galagonya extraktum folyamatának optimális körülményeinek diagrammja (Forrás: saját munka)*

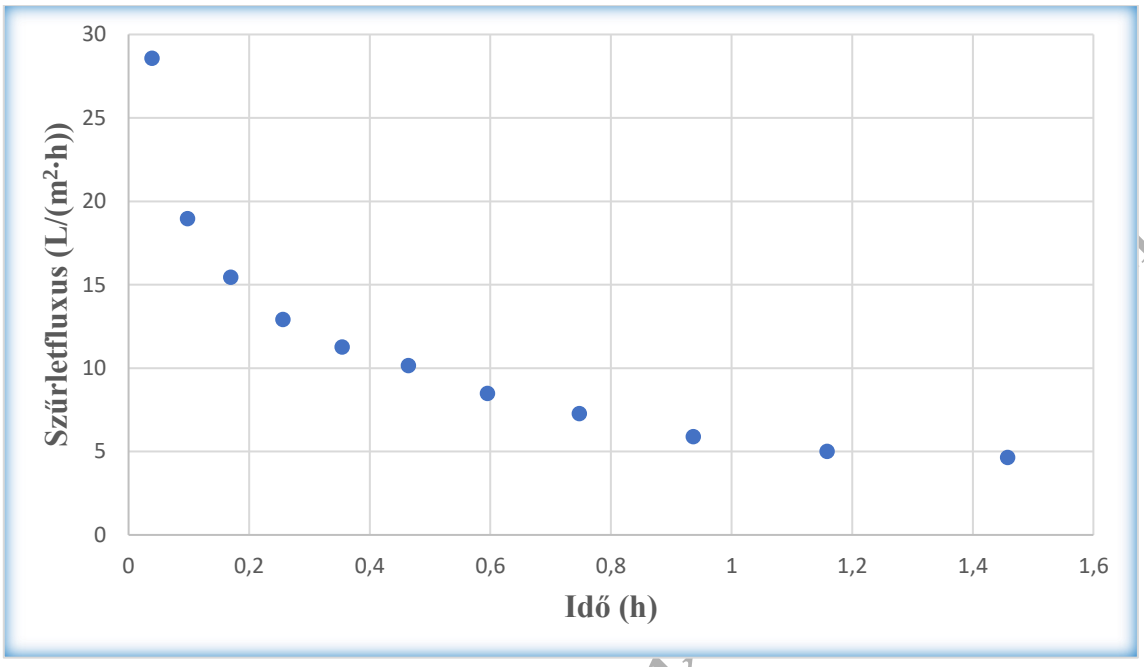


4.3. A membránszűrés során az optimális paraméterek mellett kapott eredmények, illetve az ellenállások

A további ábrákkal azokat az eredményeket szeretném bemutatni, mely paramétereit a szoftveres értékelés következtében a legközelebb találtam az optimálishoz (T=35 °C, TMP=40 bar). Először a szűrési idő függvényében ábrázoltam a fluxust, melyet a 9. ábra mutat be.

Zétény Zalán

9. ábra: *A galagonya extraktum optimális fluxusváltozása a szűrési idő függvényében (Forrás: saját munka)*

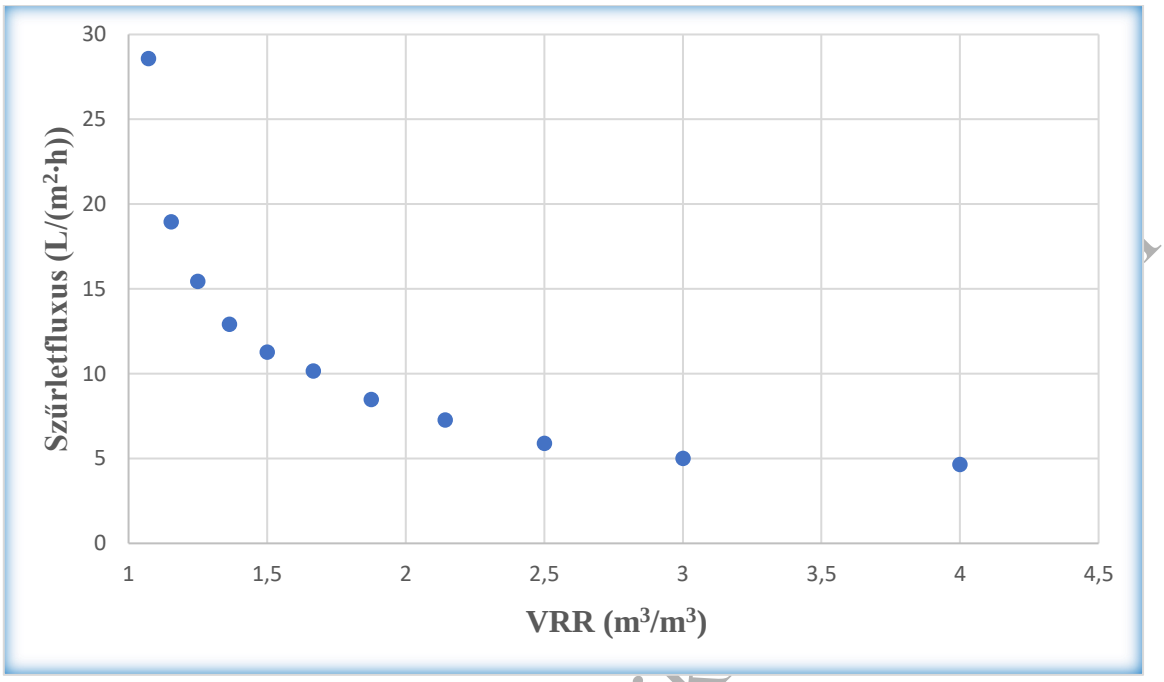


Ebben az esetben is megfigyelhető, hogy a fluxus csökkenő tendenciát mutat, azonban az is tökéletesen kirajzolódik, hogy a csökkenés mértéke nem olyan jelentős, mint például az összehasonlító ábrán elhelyezkedő, legmagasabb hőmérséklet mellett kapott görbénél. Ennek az a magyarázata, hogy az alkalmazott nyomás- és hőmérséklet értékei mellett a procedúra, illetve az eltömődés is hosszabb időt vett igénybe, mint abban az esetben. Az itt kapott fajlagos szűrletteljesítmény kezdeti értéke 28,57 $\frac{L}{m^2 \cdot h}$, míg az utolsó pontban már csak 4,64 $\frac{L}{m^2 \cdot h}$ volt. A folyamat elején 200 mL szűrlet összegyűjtéséhez 2 percre és 20 másodpercre, míg a végén már 17 percre és 57 másodpercre volt szükség, a teljes folyamat pedig 87 percet és 27 másodpercet vett igénybe.

A besűrítési arány (VRR) függvényében való optimális fluxus bemutatása a 10. ábrán történt meg. Az összehasonlítás esetén már látható volt, hogy a VRR függvényében eltérések mutatkoznak meg az időhöz képest, viszont a besűrítési arány értékei a mérések során megegyeztek.

Szakdolgozat_Adamik

10. ábra: *A galagonya extraktum besűrítési arány (VRR) alapján történő optimális fluxusváltozása (Forrás: saját munka)*

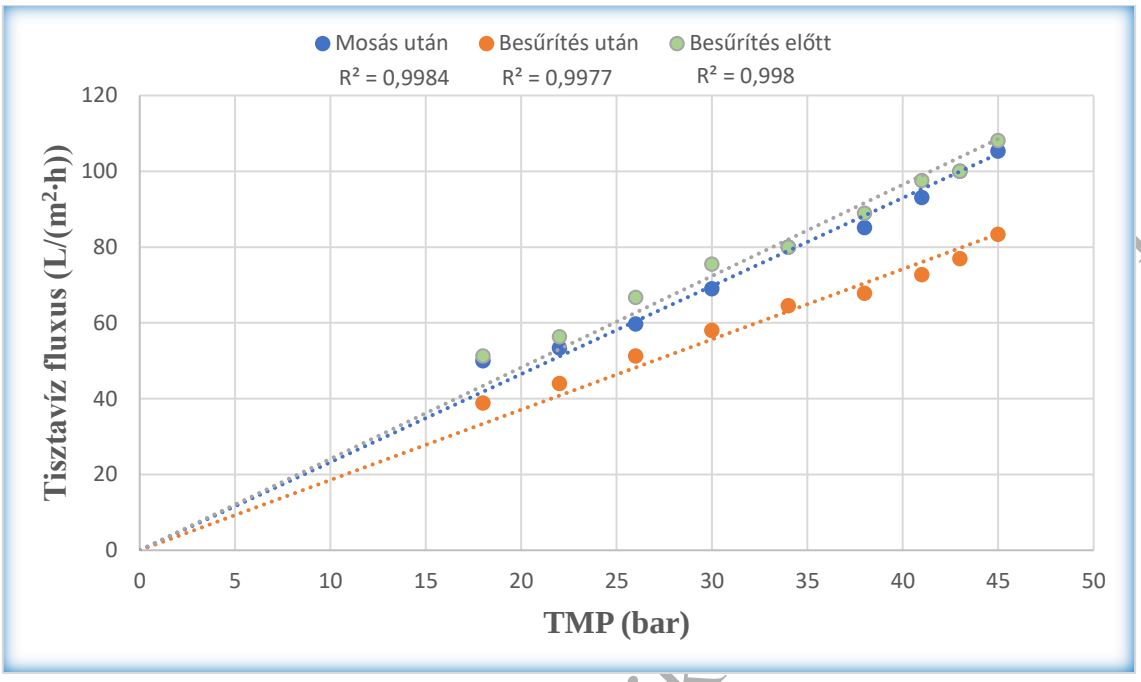


A 10. ábrán jól látható, hogy a fluxus értéke a kezdeti pontban 28,57 $\frac{L}{m^2 \cdot h}$ volt, amihez egy 1,07-es értékű besűrítési arány párosul, míg a végső pontban ez a fluxus esetén 4,64 $\frac{L}{m^2 \cdot h}$-ra, a VRR esetén pedig 4-re módosul. Ebből azt tudjuk leszűrni, hogy bár a besűrítési arányok értékei megegyeznek az előző példa eredményeivel, a fajlagos szűrletteljesítmény értékeinek csökkenése révén némi változást figyelhetünk meg a grafikus képen, hiszen egységes eloszlás állapítható meg csökkenés mértékének esetében. Ennek ellenére, itt is leszögezhetjük, hogy a besűrítési arány értékei exponenciális növekedést produkáltak.

Mivel minden egyes kísérletnél ugyanazt a metodikát követtem el, így ebben az esetben is nátrium-hidroxid oldattal való mosást végeztem a besűrítés előtt, majd ezt követően a mosás után, a besűrítés előtt, továbbá a besűrítés után is desztillált vizet használva tisztavíz fluxust mértem a transzmembrán nyomáskülönbség (TMP) függvényében. A mosás utáni, a besűrítés előtti és a koncentráció utáni összesítő diagramot a 11. ábrával mutattam be, amit a diagram alatt bővebben is részletezek.

Szakdolgozat_Adamik

11. ábra: Az optimális tisztavíz fluxus a transzmembrán nyomáskülönbség (TMP) függvényében (Forrás: saját munka)



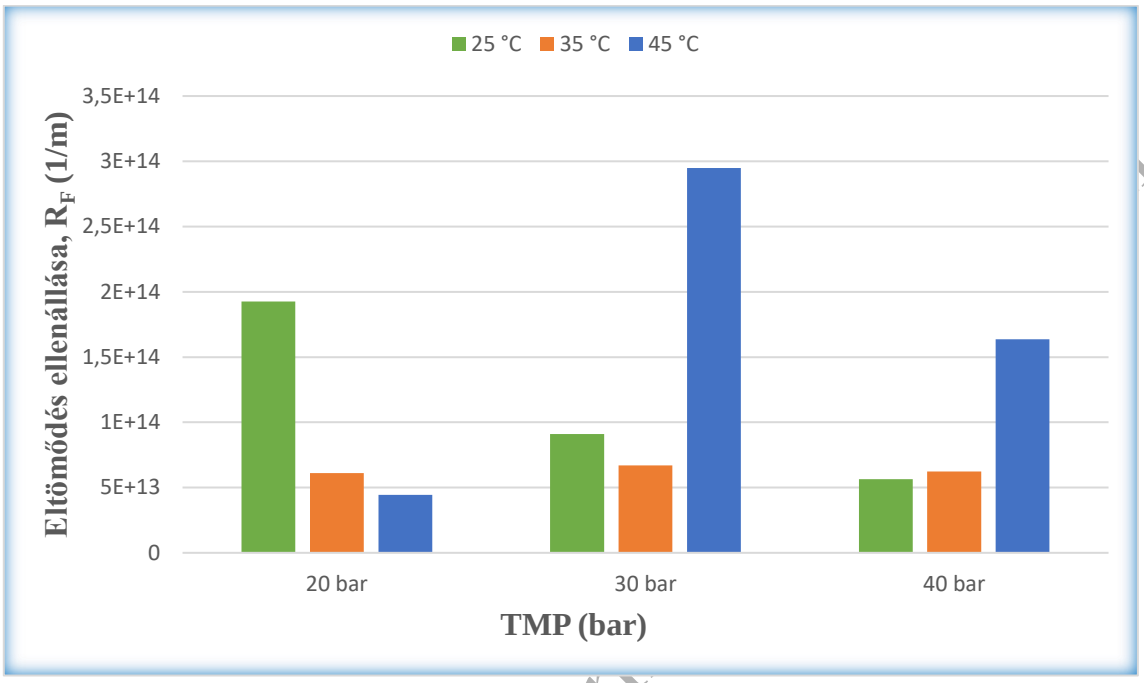
A fluxus meghatározásához ebben az esetben is a nyomásértékeket 40 bar nyomásig 1-4 bar között, míg 40 bar felett 1-2 bar tartományban rögzítettem a betáplálási oldalon. Ezentúl a beállított értékekhez tartozó 200 mL szűrlet összegyűjtéséhez szükséges időt is megmértem. A mosás utáni, továbbá a besűrítés előtti értékek vizuálisan gyakorlatilag azonosnak tekinthetők, de az adatokat megvizsgálva kisebb eltéréseket figyelhetünk meg ebben az esetben is, viszont a koncentrálást követően meghatározott tisztavíz fluxus jelen esetben kisebb mértékben tér el az előbbi kettőhöz képest. Ebből arra következtethetünk, hogy alacsonyabb eltömődést, illetve, a korábban említett méréshez képest, jelentősebb visszatartást figyelhetünk meg ezen paraméterek mellett. Összességében, a membrán hatékony működése érdekében, itt is erősen ajánlott, hogy a berendezést a membrán regenerálása céljából megfelelően átmossuk a méréseket követően.

Végezetül, az eltömődés ellenállását a 12. ábra segítségével mutatom be, amit röviden ki is fejtek szövegesen. Először is, 25 °C mellett egyértelműen megállapíthatjuk, hogy a nyomás növelésével az ellenállás fordítottan arányos, tehát csökken. Ebből arra következtethetnék, hogy 45 °C-on növekedést lehetne megfigyelni a nyomás növelésével arányosan, viszont ennek ellenére óriási fluktuációk figyelhetők meg. Az általam végül optimálisnak ítélt 35 °C-os mérések esetén viszont szinte tökéletes egyensúlyt lehet észrevenni minden nyomásérték

Szakdolgozat_Adamik

mellet, így ezen diagram is megfelelően szemlélteti, hogy mely hőmérséklet az alkalmasabb mérésemhez.

12. ábra: *A pórusos eltömődés által okozott ellenállás (Forrás: saját munka)*



Szakdolgozat_Adam

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Következtetések:

Az általam kapott kutatási eredményekből tökéletesen megállapítható, hogy a galagonya extraktum besűrítésére, illetve értékes komponenseinek visszatartására alkalmas a fordított ozmózisos elvén működő membránszűrési művelet. Sőt mi több, azt a következtetést is kijelenthetjük, hogy nagyüzemi megvalósításra is alkalmas ezen módszer, mivel a kivitelezéshez használt X20-as membrán rendkívül jó visszatartásra volt képes a fenolos, illetve a flavonoidos vegyületek esetében egyaránt. Bár gazdasági és környezetvédelmi vonatkozásban nehéz megmondani, hogy optimális megoldást jelent-e jelenleg ez a metodika, viszont azt tökéletesen látható, hogy az alkalmazott hőmérsékletek esetében a középérték, míg a transzmembrán nyomáskülönbségnél a legmagasabb paraméter mellett bizonyult optimálisnak a kísérletünk, tehát inkább magasabb kategóriába sorolható az energiaigénye, mint az ideális. Végezetül, élelmiszeripari alkalmazása is ajánlott, hiszen számos terméket és minőségi módosítást rejt magában.

Javaslatok:

- Annak érdekében, hogy a gazdaságosságot és a környezetvédelmi hatást jobban megállapíthassuk, további kísérletekre lenne szükség, viszont nagyüzemi alkalmazás esetén megújuló energiaforrásokból fedezhető lehet ez a fajta mennyiség.
- Mivel a technológia egy zárt folytonos rendszer, így a berendezésben, illetve a hozzá kapcsolódó csőhálózatban is elkerülhetetlen a lappangó víz kialakulása. Ez gyakorlatilag elősegíti a különböző mikroorganizmusok biofilm rétegének képződését, melynek eltávolításához speciális tisztítási folyamatok szükségesek, amiket az én mérésem már nem tartalmazott. Ennek következtében, a megfelelő tisztítási eljárás kidolgozása elengedhetetlen, hogyha megfelelő minőségű terméket szeretnénk biztosítani hosszú távon is.
- A technológia nagyüzemi megvalósításához szükséges feltérképezés elvégzése országos szinten, de akár nemzetközileg is.
- Az általam kapott permeátumok, mint melléktermék felhasználásának vizsgálata, a minél sokoldalúbb technológia kidolgozásának érdekében. Mivel a permeátum szinte tiszta víz, így ez a víz felhasználható lenne például a gyümölcs mosására.
- Olyan élelmiszeripari készítmények feltérképezése, amelyek gyártására vagy esetleges minőségi módosítására alkalmas az általam vizsgált sűrítmény.

Szakdolgozat_Adamik Zétény Zalán

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A gyógynövények és a komponenseinek felhasználásából előállított készítmények manapság rendkívüli népszerűségnek örvendenek, amelyek nemcsak a gyógyulni vágyók, hanem az egészséges életmódot kiemelt fontossággal követő személyek körében is egyre elterjedtebb.

Munkám során azt a célt tűztem ki magam elé, hogy egy olyan módszert valósítsak meg, mellyel lehetőséget teremtek a galagonya extraktumban megtalálható értékes komponensek visszatartására. Ennek következtében, olyan minőségű, illetve mennyiségű koncentrátum előállítása volt a célkitűzésem, ami alkalmazható különböző élelmiszeripari termékek létrehozására, vagy már meglévő gyártmányok minőségi módosítására. Továbbá, kiemelt figyelmet szenteltem annak a szempontnak is, hogy ipari szinten is gazdaságos, környezetbarát, illetve egyszerűen kivitelezhető műveletet alkalmazzak a kísérletemhez.

Első körben a beszerzett galagonya gyümölcsökből extraktumot készítettem, amelyet egy egyfokozatú, szakaszos extrakciós művelet elve alapján valósítottam meg.

Ezt követően, egy membrántechnológiai elválasztást végeztem el laboratóriumi körülmények között, melyhez egy membránszűrő berendezést alkalmaztam, ami egy fordított ozmózis membránnal volt felszerelve. A membrán kiválasztása mögött álló indok az volt, hogy megfelelő paraméterekkel rendelkezzen, illetve minél hatékonyabb visszatartást lehessen vele elérni a besűrítés során.

A membránszűrést követően analitikai vizsgálatokkal állapítottam meg a kapott sűrítmények fenol tartalmát, illetve antioxidáns aktivitását, ahol előbbihez Folin-Ciocalteu reagenst, míg utóbbihoz FRAP (Ferric Reducing Ability of Plasma) módszert alkalmaztam.

A megszerzett eredmények értékelését és modellezését a Design Expert® szoftver próbaverziójának segítségével sikerült kivitelezni, amivel a felhasznált technológia eredményességére és további alkalmazására következtethettem.

Összességében, a kapott eredmények segítségével szeretném megvizsgálni a későbbiekben a technológia gazdaságosságát, környezetvédelmi hatását, felhasználhatóságát, illetve ipari megvalósíthatóságát egyaránt.

Szakdolgozat_Adamik Zétény Zalán

IRODALOMJEGYZÉK

1. Abbas M., Saeed F., Anjum F. M., Afzaal M., Tufail T, Bashir M. S. Ishtiaq A., Hussain S., Suleria H. A. R., (2016): Natural polyphenols: An overview. International Journal of Food Properties, Volume 20, Issue 8, Pages 1689-1699
   https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1220393
2. Alirezalu A., Ahmadi N., Salehi P., Sonboli A., Alirezalu K., Khaneghah A. M., Barba F. J., Munekata P. E. S., Lorenzo J. M., (2020): Physicochemical Characterization, Antioxidant Activity, and Phenolic Compounds of Hawthorn (Crataegus spp.) Fruits Species for Potential Use in Food Applications. Antioxidant Natural Products in Foods Journal, Volume 9, Issue 4
   https://doi.org/10.3390/foods9040436
3. Alsobh A., Zin M. M., Vatai Gy., Bánvölgyi Sz., (2024): Comparison of reverse osmosis (X-20, RO-99) and nanofiltration (NF-270) membranes in the concentration of hawthorn fruit and anise seed extracts. International Journal of Food Science & Technology
   https://doi.org/10.1111/ijfs.17050
4. András C. D., (2017): Bioaktív Élelmiszer-Hatóanyagok Kinyerése Fűszer- és Gyógynövényekből Szuperkritikus Fluid Extrakció és Mikrohullámú Vízgőz-Desztilláció Alkalmazásával, PhD dolgozat, Budapesti Műszaki- és Gazdaságtudományi Egyetem
5. Armstrong R. A., Eperjesi F., Gilmartin B., (2002): The application of analysis of variance (ANOVA) to different experimental designs in optometry. Ophthalmic and Physiological Optics, Volume 22, Issue 3 p. 248-256
   https://doi.org/10.1046/j.1475-1313.2002.00020.x
6. Asghar A., Raman A. A. A., Daud W. M. A. W., (2014): A Comparison of Central Composite Design and Taguchi Method for Optimizing Fenton Process. The Scientific World Journal, Volume 2014, 14 pages
   https://doi.org/10.1155/2014/869120
7. Belwal T., Chemat F., Venskutonis P. R., Cravotto G., Jaiswal D. K., Bhatt I. D., Devkota H. P., Luo Z., (2020): Recent advances in scaling-up of non-conventional extraction techniques: Learning from successes and failures. TrAC Trends in Analytical Chemistry Volume 127
   https://doi.org/10.1016/j.trac.2020.115895

Szakdolgozat_Adamik Zétény Zalán

8. Benzie I. F. F., Strain J. J., (1996): The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of "Antioxidant Power": The FRAP Assay. Analytical Biochemistry, Volume 239, Issue 1, Pages 70-76
https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292
9. Buxton R., (2007): Design Expert 7: Introduction. Mathematics Learning Support Centre
10. Cseke T., (2023): Balatoni iszapból kinyert csurgalékvíz tisztításának technológiai modellezése, valamint felhasználásának vizsgálata, BSc Szakdolgozat, Budapest
11. Costa N. R., Lourenco J., Pereira Z. L., (2011): Desirability function approach: A review and performance evaluation in adverse conditions. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems Volume 107, Issue 2, Pages 234-244
https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2011.04.004
12. Du X., Zhang X., Bu H., Zhang T., Lao Y., Dong W., (2019): Molecular Analysis of Evolution and Origins of Cultivated Hawthorn (Crataegus spp.) and Related Species in China. Plant Systematics and Evolution Volume 10
https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00443
13. Forman H. J., Zhang H., (2021): Targeting oxidative stress in disease: promise and limitations of antioxidant therapy. Nature Reviews Drug Discovery Journal
DOI: 10.1038/s41573-021-00267-5
14. Halliwell B., (2020): Reflections of an aging free radical. Free Radical Biology and Medicine Volume 161, Pages 234-245
https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2020.10.010
15. Internet 1: A galagonya képe
https://www.gardenia.net/plant/crataegus-monogyna
16. Internet 2: A Design Expert szoftver honlapja
https://www.statease.com/software/design-expert/
17. Ivanovs K., Blumberga D., (2017): Extraction of fish oil using green extraction methods: a short review. Energy Procedia, Volume 128, Pages 477-483
https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.033
18. Jurikova T., Sochor J., Rop O., Mlcek J., Balla S., Szekeres L., Adam V., Kizek R., (2012): Polyphenolic Profile and Biological Activity of Chinese Hawthorn (Crataegus pinnatifida BUNGE) Fruits. Antioxidants 2012 Journal, Volume 17, Issue 12
https://doi.org/10.3390/molecules171214490

Szakdolgozat_Adamik Zétény Zalán

19. Hegedűs A., (2013): A csonthéjas gyümölcsök antioxidáns hatásában megnyilvánuló genetikai variabilitás jellemzése, PhD dolgozat, Budapesti Corvinus Egyetem
20. Kerényi-Nagy V., (2012): Galagonyák – Crataegus spp. Piros áltermésű ritka galagonyafajok [Rare 'red fruit' hawthors] – In. BARTHA D. (ed.): Magyarország ritka fa- és cserjefajainak atlasza, Kossuth Kiadó, Budapest. pp. 185–193.
21. Kovács B., László-Bencsik Á., Rédei D., Csupor D., (2015): Növényi szerek helye a magyar gyógyszerkincsben. Gyógyszerészet 59. 281-287; 290-291
22. Li B. B., Smith B., Hossain M. M., (2006): Extraction of phenolics from citrus peels: I. Solvent extraction method. Separation and Purification Technology Volume 48, Issue 2, Pages 182-188
https://doi.org/10.1016/j.seppur.2005.07.005
23. Lou X., Xu H., Hanna M., Yuan L., (2020): Identification and quantification of free, esterified, glycosylated and insoluble-bound phenolic compounds in hawthorn berry fruit (Crataegus pinnatifida) and antioxidant activity evaluation. LWT Volume 130
https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109643
24. Rasul M. G., (2018): Conventional Extraction Methods Use in Medicinal Plants, their Advantages and Disadvantages. International Journal of Basic Sciences and Applied Computing, Volume 2, Issue 6, Pages 10-14
25. Molina J. M., (2003): Ipari szennyvizek tisztítása membránszűréssel és pervaporációval, PhD dolgozat, Budapesti Közgazdaságtudomány és Államigazgatási Egyetem
26. Nabavi S. F., Habtemariam S., Ahmed T., Sureda A., Daglia M., Sobarzo-Sánchez E., Nabavi S. M., (2015): Polyphenolic Composition of Crataegus monogyna Jacq.: From Chemistry to Medical Applications. International Symposium on Phytochemicals in Medicine and Food Journal, Volume 7, Issue 9
https://doi.org/10.3390/nu7095361
27. Nazhand A., Lucarini M., Durazzo A., Zaccardelli M., Cristarella S., Souto S. B., Silva A. M., Severino P., Souto E. B., Santini A., (2020): Hawthorn (Crataegus spp.): An Updated Overview on Its Beneficial Properties. Forest, Foods and Nutrition Journal, Volume 11, Issue 5
https://doi.org/10.3390/f11050564
28. Özcan M., Haciseferogullari H., Marakoglu T, Arslan D., (2005): Hawthorn (Crataegus spp.) fruit: some physical and chemical properties. Journal of Food Engineering Volume 69, Issue 4, Pages 409-413
https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.08.032

Szakdolgozat_Adamik Zétény Zalán

29. Pászk N., (2021): Gyógynövények szerepe a turizmusban és az egészségügyben. Multidiszciplináris Tudományok - A Miskolci Egyetem intelligens szakosodást segítő intézményfejlesztéséhez kapcsolódó különszám, Évf. 11 szám 2 https://doi.org/10.35925/j.multi.2021.2.45
30. Rigelsky J. M., Sweet B. V., (2002): Hawthorn: Pharmacology and therapeutic uses. American Journal of Health-System Pharmacy, Volume 59, Issue 5, Pages 417-422 https://doi.org/10.1093/ajhp/59.5.417
31. Sik B., (2021): Rozmaringsav-tartalmú gyógynövénykivonatok előállítása és táplálékkiegészítőként, valamint funkcionális élelmiszerként való felhasználása, PhD dolgozat, Széchenyi István Egyetem
32. Singleton V. L., Rossi J. A., (1965): Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. American Journal of Enology and Viticulture, Pages 144-158 DOI: 10.5344/ajev.1965.16.3.144
33. Soundararajan P., Won S. Y., Kim J. S., (2019): Insight on Rosaceae Family with Genome Sequencing and Functional Genomics Perspective. Plant Genetics and Gene Study Journal, Volume 2019, 12 pages https://doi.org/10.1155/2019/7519687
34. Szép A., (2013): Membránszűrés hatékonyságának javítása kombinált módszerek alkalmazásával ipari szennyvizek tisztítása során, PhD dolgozat, Szegedi Tudományegyetem
35. Takács L., (2010): A membránszeparáció szerepe borok alkoholcsökkentésében és ipari alkoholok dehidratációjában, PhD dolgozat, Budapesti Corvinus Egyetem
36. Wenten I. G., Khoiruddin, (2016): Reverse osmosis applications: Prospect and challenges. Desalination Volume 391, Pages 112-125 https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.12.011
37. WHO traditional medicine strategy: 2014-2023 https://www.who.int/publications/i/item/9789241506096
38. Yazdi A. S., (2011): Surfactant-based extraction methods. TrAC Trends in Analytical Chemistry Volume 30, Issue 6, Pages 918-929 https://doi.org/10.1016/j.trac.2011.02.010

Szakdolgozat_Adamik Zétény Zalán

39. Yogarathinam L. T., Velswamy K., Gangasalam A., Ismail A., F., Goh P. S., Narayanan A., Abdullah M. S., (2022): Performance evaluation of whey flux in dead-end and cross-flow modes via convolutional neural networks. Journal of Environmental Management Volume 301, 113872 https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113872
40. Zhang L. L., Zhang Z. N., Yan K. J., Erihemu, Zhang L. F., Xu J. G., (2020): Antioxidant Activity and Protective Effects on Oxidative DNA and Protein Damage of Different Solvent Extracts from Hawthorn (Crataegus pinnatifida Bunge) Pages 63-68 DOI:10.12161/j.issn.1005-6521.2020.07.012
41. Zheng G., Deng J., Wen L., You L., Zhao Z., Zhou L., (2018): Release of phenolic compounds and antioxidant capacity of Chinese hawthorn "Crataegus pinnatifida" during in vitro digestion. Journal of Functional Foods Volume 40, Pages 76-85 https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.10.039

Szakdolgozat_Adamik Zétény Zalán

TÁBLÁZATOK ÉS ÁBRÁK JEGYZÉKE

Ábrajegyzék:

1. ábra: A rövidcsészés galagonya (Crataegus monogyna) termése (Forrás: Internet 1) 5
2. ábra: Keresztáramú membránszűrésnél történő nyomás- és koncentráció változás (Forrás: Cseke, 2023)..... 12
3. ábra: A hőmérséklet hatása a galagonya extraktum besűrítésére az idő függvényében 20 bar nyomáson (Forrás: saját munka) 24
4. ábra: A hőmérséklet hatása a galagonya extraktum besűrítésére a VRR függvényében 20 bar nyomáson (Forrás: saját munka) 25
5. ábra: A tisztavíz fluxus a transzmembrán nyomáskülönbség (TMP) függvényében a legmagasabb beállítások mellett (Forrás: saját munka) 26
6. ábra: A galagonya extraktum TPC tartalmának szoftveres értékelése (Forrás: saját munka) 29
7. ábra: A galagonya extraktum antioxidáns aktivitásának szoftveres értékelése (Forrás: saját munka) 29
8. ábra: A galagonya extraktum folyamatának optimális körülményeinek diagrammja (Forrás: saját munka)..... 30
9. ábra: A galagonya extraktum optimális fluxusváltozása a szűrési idő függvényében (Forrás: saját munka)..... 31
10. ábra: A galagonya extraktum besűrítési arány (VRR) alapján történő optimális fluxusváltozása (Forrás: saját munka)..... 32
11. ábra: Az optimális tisztavíz fluxus a transzmembrán nyomáskülönbség (TMP) függvényében (Forrás: saját munka)..... 33
12. ábra: A pórusos eltömődés által okozott ellenállás (Forrás: saját munka) 34

Táblázatjegyzék:

1. táblázat: A membránműveletek típusai, az alkalmazott nyomáskülönbségek alapján (Forrás: Takács, 2010)..... 11
2. táblázat: Az összes polifenol-tartalom meghatározásához felhasznált kalibrációs oldatsorozat (Forrás: saját munka)..... 18
3. táblázat: A kalibrációs görbéhez szükséges oldatok (Forrás: saját munka) 20
4. táblázat: A galagonya extraktum kísérletének eredményei (Forrás: saját munka) 27
5. táblázat: A galagonya extraktum ANOVA táblázata (Forrás: saját munka) 27

Szakdolgozat_Adamik Zétény Zalán

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretném köszönetemet kifejezni a témavezetőm, Dr. Bánvölgyi Szilvia (Egyetemi Docens) felé, aki szakmai tudásával, mérhetetlen segítségével és önzetlenségével támogatta a dolgozatom elkészítését. Illetve, szeretném még külön megköszönni Areej Alsobh PhD hallgatónak a segítségét a kísérletek kivitelezésében.

Továbbá, szeretném megköszönni az Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet, Élelmiszeripari Műveletek és Folyamattervezés Tanszékének, hogy biztosították számomra a kísérletem elvégzéséhez szükséges helyszínt, illetve eszközöket.

Végül, de nem utolsó sorban, szeretném megköszönni mindenkinek, aki valamilyen formában hozzájárult szakdolgozatom támogatásához.

Szakdolgozat_Adamik Zétény Zalán

NYILATKOZAT

a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió[1] nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve:	Adamik Zétény Zalán
A Hallgató Neptun kódja:	HBX0ER
A dolgozat címe:	Galagonyaextraktum besűrítésének vizsgálata membránszűréssel
A megjelenés éve:	2024
A konzulens intézetének neve:	Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet, Budai Campus
A konzulens tanszékének a neve:	Élelmiszeripari Műveletek és Folyamattervezés Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió[2] egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlant állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemitulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után

nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvári repozitori rendszerében.

Kelt: Budapest, 2024.04.12.

Adamik Zétény Zalán

Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Adamik Zétény Zalán (hallgató Neptun azonosítója: HBX0ER) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: Budapest, 2024. április 3.

dr. Bánvölgyi Szilvia
Belső konzulens