

# SZAKDOLGOZAT

Szomszéd Aliz

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem  
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet  
Élelmiszeripari Műveletek és Folyamattervezés Tanszék

Membránszűréssel koncentrált céklalé extraktum felhasználása  
tejtermékek funkcionális tulajdonságainak javítása érdekében

Szomszéd Aliz

Szomszéd Aliz

2023

## TARTALOMJEGYZÉK

### 1. Bevezetés 1

### 2. A munka célja 2

### 3. Irodalmi áttekintés 3

#### 3.1. Funkcionális élelmiszerek 3

#### 3.2. Lakosság egészségügyi helyzete 4

#### 3.3. Cékla 5

##### 3.3.1. Beltartalma 6

##### 3.3.2. A cékla élettani hatása 8

##### 3.3.3. A cékla bioaktív komponensei 9

###### 3.3.3.1. Fenolos vegyületek 9

###### 3.3.3.2. Betalainok 10

##### 3.3.4. A cékla felhasználása 10

#### 3.4. Hulladék és melléktermék képződés 11

#### 3.5. Extrakció 12

#### 3.6. Membránszűrés 13

#### 3.7. A tej 15

##### 3.7.1. A tej jellemzői 16

##### 3.7.2. A tej összetétele 16

###### 3.7.2.1. Víz- és szárazanyag-tartalom 17

###### 3.7.2.2. Fehérje- és aminosav tartalom 18

###### 3.7.2.3. Zsírok, zsírszerű anyagok 22

###### 3.7.2.4. Tejcukor (laktóz) 24

###### 3.7.2.5. Ásványi anyagok 24

###### 3.7.2.6. Vitaminok 26

#### 3.8. 3.A tej élettani hatásai - tejfehérje allergia és laktóz intolerancia 26

#### 3.9. Joghurt 28

##### 3.9.1. Joghurtkészítmények előállítása 28

#### 3.10. Enzimes hidrolízis 29

##### 3.10.1. Papain 30

#### 3.10. Fermentáció 30

### 4. Anyagok és módszerek 32

#### 4.1. Vizsgált anyagok 32

#### 4.2. Felhasznált vegyszerek 32

#### 4.3. Módszerek 32

##### 4.3.1. Extrakció 32

##### 4.3.2. Membránszűrés 33

##### 4.3.3. Összes polifenol-tartalom mérése Folin-Ciocalteu reagenssel 34 (TPC – Total Phenolic Content)

- 4.3.4. Antioxidáns kapacitás mérése FRAP (Ferric 36 Reducing Ability of Plasma) módszerrel
- 4.3.5. Betacianin-, betaxantin tartalom mérése 38
- 4.3.6. Enzimes hidrolízis 39
- 4.3.7. Fermentáció 39
- 4.3.8. Színmérés 40
- 4.3.9. Antioxidáns kapacitás meghatározása 41
- 4.3.10. SDS-poliakrilamid gélelektroforézis 41

## **5. Kísérleti eredmények és értékelésük 43**

5.1. Extrakció 43

5.2. Membránszűrés 43

5.3. Összes polifenol-tartalom mérése Folin-Ciocalteu reagenssel (TPC) 47

5.4. Antioxidáns kapacitás mérése FRAP módszerrel 47

5.6. Betacianin-, betaxantin tartalom mérése 48

5.6.1. Betacianin tartalom 48

5.6.2. Betaxantin tartalom 49

5.7. Színmérés 50

5.8. Kevert joghurtminták anitoxidáns tartalma 53

5.9. Fehérje-eloszlásban bekövetkező változások nyomonkövetése 53

## **1. Összefoglalás 55**

## **2. Irodalmi hivatkozások 57**

Szomszéd Aliz

## 1. BEVEZETÉS

A táplálkozás olyan alapvető biológiai funkciónk, mely során szervezetünk a megfelelő és egészséges működéshez különféle tápanyagokat (fehérje, zsír, szénhidrátok, vitaminok, ásványi anyagok) vesz fel, amit az érhálózatban keringő vér által juttat el a sejtekhez. Mértékét szervezetünk szükségletei, illetve a felvett táplálék tápértéke szabja meg. A felvett tápanyagok egy részét a felhasznált tápanyagok pótlására, illetve különféle élettevékenységek energiaszükségletének fedezésére használja fel. Kiemelten fontos, a megfelelő mennyiségű és minőségű tápanyagbevitel. A fehérje, a zsír és a szénhidrátok az emberi szervezet fő tápanyagai, a vitaminok és ásványi anyagok bevitelére a szervezetbe az egészséges étrend nélkülözhetetlen része. A 21. század társadalmában egyre nagyobb problémát okoznak a helytelen táplálkozásból adódó hiánybetegségek. Az ásványi anyagok közül a leggyakrabban a cink, a szelén, a vas, a jód és a kalcium, a vitaminok közül pedig az A- és a D-vitamin, valamint a folsavhiány fordul elő. A kukoricát fogyasztó társadalmakban gyakori a niacin hiánya, a tiamin hiány a rizsfogyasztó populációkban, a C-vitamin hiányából következő skorbut pedig azokban a közösségekben jellemző, amelyekben kevés friss gyümölcsöt vagy zöldséget fogyasztanak. Napjainkban 2 milliárd ember szenved vashiányban, 1,9 milliárd jódhiányban. Az A-vitamin hiánya miatt 250 millió iskolás korú gyermeket veszélyeztet a vaklás. Eme hiánybetegség ott fordul elő legnagyobb mértékben, ahol a táplálkozás gabonán és hüvelyeseken alapul, és nem fogyasztanak elegendő mennyiségben állati eredetű élelmiszereket, valamint friss gyümölcsöt és zöldséget (Csapó et al., 2019).

Ezekre a problémákra ajánlhat megoldást a funkcionális élelmiszerek iparága. Ezen termékek hozzájárulhatnak egészségünk megőrzéséhez. A funkcionális élelmiszerek tápértékükben és funkcionális tulajdonságaikban feljavított olyan élelmiszerek, melyek beltartalmi paraméterei bizonyítottan hozzájárulnak az egészséges életmód fenntartásához.

Napjaink egy másik nagy problémája a mezőgazdaságból, élelmiszeripari feldolgozásból keletkező növényi eredetű melléktermékek és hulladékok mennyisége és felelőtlen kezelése. Ezen anyagok keletkezése komoly gazdasági és környezeti problémákat okoz. Felelős és környezetbarát felhasználásuk nemcsak gazdasági és környezetvédelmi szempontból lehet jelentős, de egészségünk megőrzésében is sokat segíthet. Egyre több kutatás foglalkozik a zöldség- és gyümölcsfeldolgozás melléktermékeinek, például a zöldségek héjának értékes komponens tartalmával, ezek kinyerésével és élelmiszeripari felhasználásával akár adalékanyagként, akár funkcionális tulajdonságokkal rendelkező étrendkiegészítőként.

## 2. A MUNKA CÉLJA

Kutató munkámban egy olyan technológia vizsgálatát tűztem ki célul, melyben a zöldségfeldolgozó ipar egyik melléktermékének élelmiszeripari felhasználását vizsgálom jövőbeni funkcionális termékek előállításához. Így olyan funkcionális élelmiszer állítható elő, ami nem csupán jótékony hatású az egészségre, de valamilyen hozzáadott értékkel is rendelkezik.

A cékla héja gazdag fenolos vegyületekben, színanyagokban és antioxidánsokban, ezért egyre növekvő érdeklődés övezi az élelmiszeriparban. A benne található pigmentek kinyerésével természetes ételszínezékek, antioxidáns tartalmának felhasználásával funkcionális élelmiszerek gyárthatók. Munkám során arra törekedtem, hogy ezt a lehető legelérhetőbb, környezetbarátabb, gazdaságosabb, és hatásosabb módszerekkel valósítsam meg.

Első lépésben a cékla héjából készítettem vizes extraktumot, mikrohullámú kezelés alkalmazásával. A mikrohullámú sütő három teljesítményén (100 W, 450 W, 800 W) készítettem extraktumot, belőlük mintát vettem. A továbbiakban vizsgáltam, hogy melyik teljesítményen milyen színanyag, polifenol és antioxidáns kapacitású extraktumok jönnek létre.

a gyártási technológia második lépéseként DDS membránszűrő berendezéssel és az abba épített fordított ozmózis membránnal (X20) besűrítettem az extraktumokat. A kapott sűrítvényből (retentátum) és a szűrletből (permeátum) mintát vettem, a későbbi analitikai vizsgálatokhoz.

Ezek után mértem a minták összes polifenol-tartalmát Folin-Ciocalteu reagenssel és az antioxidáns kapacitásukat FRAP (Ferric Reducing Ability of Plasma) módszerrel. Majd a Zin és munkatársai (2020) által leírt módszer alapján Hach kézi spektrofotométer segítségével mértem a minták színanyag tartalmát.

Vizsgáltam továbbá a kinyert komponensek élelmiszeripari felhasználhatóságának lehetőségét. Ehhez fagyasztva szárított termofil joghurtkultúra felhasználásával joghurtokat készítettem. Előállítottam laktóz és laktózmentes, valamint papain enzimmel kezelt és kezeletlen mintákat. Megfelelő arányban sűrített céklahéj extraktumot kevertem hozzájuk. Mértem a kevert joghurtok antioxidáns kapacitását FRAP módszerrel, valamint a CHROMA METER CR-400 készülékkel a színüket. Végül SDS-poliakrilamid gélelektroforézis segítségével az enzimes hidrolízis hatékonyságát határoztam meg.

### **3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS**

#### **3.1. Funkcionális élelmiszerek**

A 21. század elején az iparosodott világnak új kihívásokkal kell szembenéznie, mint például az egyre növekvő egészségügyi ellátási költségek, az új technológiák megjelenése és fejlődése, vagy a megnövekedett várható élettartam, melyek az életmód jelentős változásához vezettek. A táplálkozástudomány napjainkra az egyik legnagyobb tudományos ágazattá vált, célja a kiegyensúlyozott étrend fontosságának hangsúlyozása mellett az élettani funkciók maximalizálása az optimális táplálkozással. Így egész életünk során biztosítható jólétünk és egészségünk, valamint minimalizálható a betegségek kockázata (Martirosyan et al., 2021).

A funkcionális élelmiszerek az élelmiszerek azon csoportja, melyek különböző összetevőket tartalmaznak, amik az egészség megőrzését elősegítő, vagy a betegségek kockázatát csökkentő hatást fejtenek ki a testi funkciókra (Roberfroid, 2002).

A szakirodalomban azokat az élelmiszereket is funkcionálisnak nevezik, amelyek a szokásosnál kisebb mennyiséget tartalmaznak valamely összetevőből. Ilyenek például a zsír-, szénhidrát-, illetve fehérje-tartalmukban csökkentett készítmények (Csapó et al., 2019).

A funkcionális élelmiszerkészítmények közül az energia-szegényített termékekben gyakran természetes édesítőszerket használnak a cukrok helyett.

Nutraceutikumoknak a funkcionális élelmiszerek körén belül az olyan élelmiszereket nevezik, amelyek gyógyszerhatóanyagokból a gyógyszerkészítményekhez közeli mennyiségben tartalmaznak. Az Európai Unióban a nutraceutikumok étrend-kiegészítő termékeknek minősülnek, tehát a gyógyhatású készítmény megnevezés nem használható.

Szintén a funkcionális élelmiszerek közé tartoznak a prebiotikus termékek, melyek prebiotikumai a tápcsatornába jutva elősegítik az emberi bélflóra szaporodását, ugyanakkor visszaszorítják a káros mikroorganizmusokat. Ezen hatásuk elősegíti a kedvezőbb összetételű mikrobiom kialakulását az emberi tápcsatornában.

A probiotikum olyan kultúra, mely élő mikroorganizmusokat tartalmaz. A probiotikus élelmiszerek egyik csoportjánál maga a kultúra az élelmiszer alapanyaga, másik csoportjánál a nem probiotikus termékhez utólag adják hozzá az aktív kultúrát.

A funkcionális élelmiszereket gyakran vitaminokkal és ásványi anyagokkal egészítik ki. Ugyanakkor különös figyelmet kell fordítani a zsírban oldódó vitaminok adagolására.

Ezek túladagolása veszélyes lehet, ezért a gyártási technológia során csak az élelmiszerre vonatkozó ADI (ADI - Acceptable Daily Intake) értéknek megfelelő mennyiségű vitamint szabad a készítményekhez adni.

Az Európai Unióban a hagyományos és a funkcionális élelmiszerekre is ugyanaz a jogi előírásrendszer vonatkozik. Az élelmiszer-gazdaság részleteit érintő szabályozás azonban egyelőre nem egységes, a tagállamok alkalmazzák saját előírásaikat is. A funkcionális élelmiszerekkel kapcsolatos egységesítés jelenleg is folyamatban van (Csapó et al., 2019)

Az élelmiszerek azon tulajdonságainak összességét, amelyek alkalmassá teszik a vele szemben felállított igények kielégítésére, élelmiszer-minőségnek nevezzük. Az alapvető követelmény az, hogy az élelmiszer biztonságos legyen, vagyis tartós fogyasztása ne jelentsen kimutatható egészségügyi kockázatot.

Az újonnan kifejlesztett készítmények hatásai közül vizsgálni kell azt, hogy milyen kockázattal jár az élelmiszer túladagolása, vagy, hogy kifejti-e a kívánt táplálkozás-élettani hatását a hozzáadott funkcionális összetevő, esetleg fennáll-e annak a veszélye, hogy az összetevők és a normál élelmiszerek komponensei között mekkora a nem kívánt keresztreakciók valószínűsége.

### **3.2. Lakosság egészségügyi helyzete**

A KHS adatai szerint Magyarországon 2019-re a születéskor várható élettartam 76,2 évre emelkedett, továbbá az egészségesen eltöltött életevek száma is közel öt évvel növekedett. A 15 éves és annál idősebb hazai lakosság saját egészségét ötfokú skálán mérve átlagosan 3,7-re értékelte, ami 0,15 pontos javulást mutatott a 2009-es évi felméréshez képest. A 15 éves és annál idősebb magyarországi lakosság többsége szerint saját egészségi állapota nagyon jó vagy jó, körülbelül harmada kielégítőnek ítélte, és mintegy hetede szerint rossz vagy nagyon rossz. Az életkor előrehaladtával az egészségi állapot kedvező megítélése lineárisan csökken, a javulás relatív mértéke viszont az idősebb korcsoportokban nagyobb, a fiatalok között azonban kismértékű csökkenés volt kimutatható az utóbbi öt évben. A férfi és női lakosság megítélése között minden korcsoportban eltérés látható. Az egészség önértékelése azonban erőteljesen függ az iskolai végzettségtől, különösképpen a középkorúak körében.

Európában a krónikus betegségek az összes haláleset közel kilenctizedének az okozói. A 15 éves és annál idősebb magyarországi lakosság 48%-a nyilatkozott krónikus betegség, vagy egészségi probléma meglétéről. A hazai népesség leggyakoribb egészségi problémái a



mozgásszervi betegségek és a magas vérnyomás. Mindkét betegségtípust a 15 éves és annál idősebb lakosság mintegy háromtizedénél állapították meg (Internet 1.)

A 15 éves és annál idősebb lakosság körülbelül 55%-a evett naponta legalább egyszer friss, fagyasztott, szárított vagy konzervgyümölcsöt. A napi zöldségfogyasztás kevésbé volt népszerű (44%). A tej, tejtermék fogyasztása közel annyira volt népszerű, mint a zöldség és gyümölcsé. A húskészítmények nagy népszerűségéből adódóan a népesség majdnem egyharmada fogyasztott húst, vagy feldolgozott húskészítményt naponta. Heti gyakorisággal 90%-uk evett fehér húsból készült ételeket, kétharmaduk pedig vörös húsokat. A lakosság háromnegyede halat és tenger gyümölcseit a hetinél ritkábban vagy sosem fogyaszt.

A magyarországi lakosság közel ötöde követett speciális étrendet (diabetikus, gluténmentes, laktózmentes, tejfehérjementes, energiaszegény, sószegény, vegetáriánus és egyéb), közülük minden negyedik fő egyszerre többet is. A különböző diéták több mint kétszer gyakoribbak voltak a krónikus betegek között.

A túlsúly nagymértékben hozzájárul a 2. típusú cukorbetegség, a szív- és érrendszeri betegségek, a rák számos formájának, az ízületek degeneratív jellegű megbetegedéseinek és más egészségügyi problémák kialakulásához. A KHS adatai szerint a 15 éves vagy annál idősebb lakosság közel hattizede túlsúlyos, közülük majdnem negyede elhízott. Az 5 évvel korábbi eredményekkel összehasonlítva a túlsúlyosak aránya 1 százalékponttal, az elhízottaké 3 százalékponttal növekedett. Európai viszonylatban Magyarország a három legelhízottabb lakosságú ország között volt. Az életkor előrehaladtával az elhízottak, illetve túlsúlyosak száma is növekedett. Az elhízottak között minden korcsoportban nagyobb a krónikus betegek aránya. A cukorbetegnek négyszer, a magasvérnyomás-betegségben szenvedők háromszor gyakrabban fordulnak elő az elhízottak körében, mint a normál súlyúak és a soványak összevont kategóriájában (Internet 2.)

### **3.3. Cékla**

A cékla, tudományos nevén *Beta vulgaris* L. ssp. *esculenta* Gurke var. *rubra* L., régóta ismert és termesztett növény. Rokona a cukorrépának (*Beta vulgaris* L. provar. *altissima*), a takarmányrépának (*Beta vulgaris* L. convar. *crassa* provar. *crassa*) és a mángoldnak (*Beta vulgaris* L. con var. *cicla*) (Kovács, 2011). Nyersen, elkészítve és feldolgozva is fogyasztjuk. Természetes ételszínezék forrásként is használatos, alkalmazzák jégkrémek, joghurtok, szójatermékek, kolbászok, pácolt húsok színezésére. Ki is váltotta a korábban alkalmazott, rákkeltő E123 mesterséges színezéket (Nagy, 2006).

### 3.3.1. Beltartalma

Kedvező élettani hatásait a benne található antioxidánsoknak, a magas vitamin-, ásványianyag- és rosttartalmának köszönheti.

A friss cékla tápanyagtartalmát több tényező is befolyásolja, úgy, mint a fajta, a termesztési- és betakarítási körülmények (Takácsné Hájos, 2000). (1. táblázat)

Amint azt a táblázat is mutatja, a cékla szénhidrátban és fehérjében igen gazdag, zsírokat viszont alig, koleszterolt pedig egyáltalán nem tartalmaz. Cukortartalma nagyobb részt szacharózt, kisebb mennyiségben pedig fruktózt tartalmaz (Babinszky-Székely, 2019).

1. táblázat: Cékla tápanyagtartalma (Székely és Máté, 2022)

Energy components	Unit	RODLER [18]	NEELWARNE [19]	SOUCI et al., [20]	USDA [21]
Protein	g	1.3	1.61	1.53	1.61
Fat	g	0.1	0.17	0.10	0.17
Carbohydrate	g	5.9	9.56	6.76	9.56
Energy content	kJ	130	45	175	180
	kcal	31	—	41	43
Ash content	g	0.9	—	—	1.08
Water content	g	90.9	—	86.2	87.58
Fiber	g	—	2.8	—	—

A cékla jelentős mennyiségű C-, B1-, B2-, B6-vitamint és folsavat is tartalmaz (2. táblázat).

2. táblázat: Cékla vitamintartalma (Székely és Máté, 2022)

Vitamins	Unit	RODLER [18]	NEELWARNE [19]	YASHWANT [13]	SOUCI et al., [20]	USDA [21]
Ascorbic acid (C)	mg	13	4.9	3.6	10	4.9
Thiamine (B1)	µg	25	31	0.31	22	31
Riboflavin (B2)	mg	0.03535	0.057	0.27	42	40
Niacin	mg	0	—	—	—	0.334
Pantothenic acid	mg	—	0.155	0.145	0.130	0.155
Pyridoxine (B6)	mg	0.07	0.067	0.067	—	0.067
Folic acid	µg	73	109	80	83	109
Retinol (A)	µg	0	33 IU	2	1.8	2
Carotene	µg	0	20	—	0.011	0.020
Calciferol (D)	µg	0	—	—	—	—
Tocopherol (E)	mg	—	0.04	—	—	—
Biotin	µg	5.0	—	—	—	—

A cékla esszenciális és nem esszenciális aminosav tartalma jelentős, ahogy azt a 3. táblázat is mutatja.

3. táblázat: Cékla aminosavtartalma (Székely és Máté, 2022)

Amino acid	Quantity mg/100 g	Amino acid	Quantity mg/100 g
tryptophan	0.019	cystine	0.019
isoleucine	0.048	arginine	0.042
leucine	0.068	histidine	0.021
lysine	0.058	alanine	0.060
threonine	0.047	glutamic acid	0.428
methionine	0.018	glycine	0.031
phenylalanine	0.046	proline	0.042
tyrosine	0.038	aspartic acid	0.116
valine	0.056	serine	0.059

Makroelemek közül magas a kálium, nátrium, magnézium és a kalcium tartalma (5. táblázat).

Mikroelemek közül legnagyobb mennyiségben vasat tartalmaz.

4. táblázat: Cékla makro- és mikroelemtartalma (Székely és Máté, 2022)

Minerals	Unit	RODLER [18]	NEELWARNE [19]	YASHWANT, [13]	SOUCI et al., [20]	USDA [21]
Phosphorus	mg	87	—	38	44	40
Calcium	mg	35	16	16	17	16
Potassium	mg	260	325	305	407	325
Magnesium	mg	87	23	23	20	23
Sodium	mg	98	78	77	58	78
Zinc	mg	0.337	0.075	0.35	0.357	0.35
Cobalt	mg	0.009	—	—	0.0016	—
Chromium	mg	0.005	—	—	0,003	—
Manganese	mg	0.540	0.329	—	0.244	0.329
Nickel	mg	0.052	—	—	0.011	—
Copper	mg	0.087	0.35	—	0.082	0.075
Selenium	mg	0.001	—	—	0.0006	0.0007
Iron	mg	0.60	0.80	0.79	0.890	0,80

Továbbá megállapították (Takácsné Hájos, 2002), hogy a zöldség különböző részei eltérő mennyiségű makro és mikroelemet tartalmaznak. A héj rész magnéziumban, kalciumban, káliumban, nátriumban, foszforban, cinkben, vasban, rézben, mangánban és alumíniumban gazdagabb, mint a hús. Ezért elkészítésénél erre különös figyelmet kell fordítani. Érdekes még hámozás előtt megfőzni, ugyanis a héj megfosztásával a zöldség ásványianyag tartalma jelentősen csökken.

A cékla további fontos tulajdonsága a színanyag tartalma és annak eloszlása. Kutatások bizonyítják, hogy a színanyag mennyiségét több paraméter befolyásolja, mint a fajta tulajdonsága és a környezeti tényezők. A színanyagok egyenetlen eloszlása a cékla másodlagos vastagodásából adódóan jöhet létre. Ennek során koncentrikus körök formájában jelennek meg fa- és hancselemek, melyeknek különböző színanyag tartalmával magyarázható a répatest belső, esetenként fehér gyűrűssége, amely jelentősen rontja a termés minőségét.

### 3.3.2. A cékla élettani hatása

Az oxidatív stressz a szabad gyökök és az antioxidánsok egyensúlyának felborulása a szervezetben, ami sejt- és szövetkárosodáshoz vezethet és az öregedési folyamathoz is nagyban hozzájárul. Kialakulásához számos életmódbeli tényező hozzájárulhat. Számos kutatás (Tan és Hamid, 2021; Hódossi, 2000) foglalkozik vele, hogy a megfelelő zöldség és gyümölcs

fogyasztás összefüggésben van az egészség megőrzéssel. Ez minden bizonnyal a növényi táplálékban található polifenolok antioxidáns hatásával van összefüggésben. A cékla vércépző szerepe régóta ismert, amelyet azóta klinikai vizsgálatokkal is igazoltak (Hódossi, 2000). A leukémia és a vérszegénység kezelésében is alkalmazzák, mint gyógyhatású készítményt. Továbbá megfigyelték (Chen et al., 2021), hogy a cékla antioxidáns színezék (bétám) tartalma daganat gátló és magas vérnyomás csökkentő hatású. Ásványi anyag összetételében már láthattuk (4. táblázat), hogy igen nagy mennyiségű K-ot (336 mg%) és Mg-ot (25-75 mg%) tartalmaz, melyek sói elősegítik a víz távozását a szervezetből, ezzel könnyíti a szív terhelését. A cékla táplálkozás élettani hatásában jelentős szerepet kap diétás rost tartalma, mely 1%-os arányban van jelen a répatestben. Ezek nem csupán ballaszt anyagként funkcionálnak, hanem jelentősen hozzájárulnak a megfelelő emésztéshez. A rostban alacsony étrend lelassítja a béltartalom továbbhaladását, amely lehetőséget ad a különböző, táplálékkal bevitt, vagy később kialakult karcinogén anyagok a bélfalon történő átjutására. Az élelmi rost olyan vegyületekből áll (poliszacharidok, lignin, pektin, stb.), amelyek ellenállnak az emberi szervezet emésztőenzimeinek, ezért elősegítik hozzájuk kapcsolódó nehézfémek kiürülését a tápcsatornából (Takácsné Hájos, 1996).

### **3.3.3. A cékla bioaktív komponensei**

A céklában több bioaktív komponens is megtalálható, ilyenek például a betalainok, az aszkorbinsav, a karotinoidok, a polifenolok, a flavonoidok, a szaponinok, kisebb mennyiségben a glicerin, a betanin és a folsav (Bangar et al., 2022).

A továbbiakban bemutatom a munkám szempontjából fontosabb, a céklára jellemző bioaktív molekulák jelentőségét.

#### **3.3.3.1. Fenolos vegyületek**

A növényvilágban a polifenolok a metabolitok legelterjedtebb osztályába tartoznak, szinte mindenütt jelen vannak. Bár szigorúan véve a monofenolok, mint például a p-kumársav, nem polifenolok, azonban számos tulajdonságuk és jellemzőjük megegyezik, ezért funkcionális polifenolokként ismertek (Csapó et al., 2019; Pereira et al., 2009).

Azon szerves vegyületeket, amelyek több fenolcsoportot is tartalmaznak polifenoloknak nevezzük. Ezen molekulák intenzív antioxidáns tulajdonságait a hidroxil-csoportok biztosítják, melyek a fenolos gyűrűhöz kapcsolódnak. E vegyületek képesek módosítani a kulcsenzimek aktivitását ezért fontos élettani jellemzőkkel bírnak, mint öregedésgátló, értágító,

daganatellenes, gyulladáscsökkentő és az immunrendszert erősítő hatás. A legfontosabb étkezési polifenol források a gyümölcslevek, a kávé, a tea, a vörösbor, a hagyma, az alma és a bogyós gyümölcsök, a fekete ribizli és az áfonya. Chhikara és munkatársai (2018) szerint a cékla összes fenolsavtartalma 50-60  $\mu\text{mol/g}$  szárazanyag, mely a héjban  $4,3\pm 0,2$  mg galluszsav egyenérték/g szárazanyag Kähkönen és munkatársai (1999) kutatása alapján.

#### *3.3.3.2. Betalainok*

A betalainok nitrogéntartalmú, vízben oldódó, vörös-ibolya és sárga pigmentek (Nemzer et al., 2011). Ezek alkotják a növényi pigmentek egyik fő osztályát. A klorofill, az antociánok, valamint a karotinoidok mellett a növényi szervek feltűnő színéért felelősek.

A növényi sejtek vakuólumaiban található, tirozinból szintetizált aromás indolszármazékok, egy glikozid cukorból és egy színes részből állnak. Szintézisüket a fény segíti elő.

A betalain vegyületek szabad gyökfogó hatása ismert, illetve a biológiai molekulákban kialakuló oxidatív stressz hatását is akadályozzák (Munir et al., 2018).

Ezen értékeik számos betalain-alapú termék kifejlesztéséhez vezettek az étrend-kiegészítő iparban, míg a széles pH tartományában való stabilitásuk miatt az élelmiszeriparban természetes élelmiszer-színezékként használják (Polturak és Aharoni, 2017).

Két alcsoportja a vörös betacianinok és a sárga betaxantinok.

A cékla színének meghatározó tényezői ezen két színanyag megléte, aránya és megoszlása, mely a zöltség fajtájától, a termesztés és betakarítás folyamatától erősen függ.

A betacianin a céklában a betanin és az isobetanin, az összes pigment 88-93%-át teszi ki. Abszorpciós maximumuk 535-538 nm hullámhossz tartományban van. Mára már több tanulmány is kimutatta, hogy a hőkezelés során lebomlott betanin bizonyos adalékok hozzáadásával képes regenerálódni (Han et al., 1998).

A betaxantinok a betalaminsav különböző aminosavakkal vagy aminokkal konjugáció révén alkotott termékei. 460- 480 nm-en mutatják a legmagasabb abszorbanciát (Székely és Máté, 2022).

#### *3.3.4. Cékla felhasználása*

A céklát az egész világon fogyasztják. Kelet-Európában a céklaleves kedvelt fogás, a savanyított cékla pedig Dél-Amerika hagyományos étele. Nyersen salátaként, de főzve, sütvé

és szárítva is fogyasztható. A cékla friss leveleit és szárát párolva, az idősebb szárazakat pedig süttve szokták elkészíteni. (Dhiman et al., 2021).

Manapság a cékla nagy mennyiségét kereskedelmi céllal savanyúságok előállítására használják fel, kis részét gyümölcsle formájában hasznosítják.

Színanyagait természetes színezékként használja az élelmiszeripar. A fogyasztók is a természetes adalékanyagokat tartalmazó termékeket részesítik előnyben. A szintetikus színezékek negatívan hatnak az emberi egészségre, allergiát okoznak és hosszan tartó fogyasztás esetén rákkeltő hatásúak. Ezzel szemben a természetes élelmiszer-színezékek vonzóbbak, javítják a látást és antioxidáns tartalmuk miatt pozitív egészségügyi hatásokkal rendelkeznek. Továbbá a természetes színezékek vízben oldódnak, ami megkönnyíti a vizes élelmiszer-rendszerekbe való beépítésüket. A cékla színanyagait különböző élelmiszerek, például tejtermékek, joghurtok, feldolgozott sajtok, jégkrémek, fagyaltok és egyéb édességek színezésére használják (Chhikara et al., 2018).

A magas bioaktív anyag tartalma miatt a cékla és a belőle készült adalékanyagok értékes alkotóelemei lehetnek az étrendnek, éppen ezért alkalmas funkcionális élelmiszerek előállítására. A cékla alapú étrendkiegészítők fokozzák a nagy intenzitású és fizikai aktivitással szembeni tűrőképességet (Brzezińska-Rojek et al., 2023).

### **3.4. Hulladék és melléktermék képződés**

Európában évente körülbelül 89 millió tonna élelmiszerhulladék keletkezik, és ez a mennyiség az előrejelzések szerint az elkövetkező években a 40-szeresére fog nőni. A mezőgazdasági gyümölcs- és zöldség hulladékok nagy része a termények válogatása során jön létre a megfelelő minőség biztosításának érdekében. Az élelmiszer-feldolgozás jelentős tápanyag veszteséget okoz az alkalmazott technológiák révén, és a keletkező hulladék komoly gazdasági és környezeti problémákat okoz. A gyümölcsök és zöldségek héját, hüvelyét, magját és szárát általában annak ellenére is kidobják, hogy köztudottan potenciálisan hasznos vegyületeket, például karotinoidokat, élelmi rostokat, enzimeket és polifenolokat tartalmaznak. A gyümölcs- és növényi hulladékok főként vízből (80-90%) és szénhidrogénekből állnak, de kis mennyiségben fehérjéket és zsírokat is tartalmaznak. A keletkezett hulladék nagy részét hulladéktelepre szállítják vagy folyókba rakják le. Mikrobiális bomlásuk káros hatással van a környezetre a keletkező metán miatt. Általános megoldás még a takarmányozási célra való felhasználás is, azonban a bevett takarmányozási módszerek miatt csak kevés mennyiség használható fel így. Ezekben a hulladékokban azonban jelentős mennyiségű biológiailag aktív

vegyület is megtalálható, például polifenolok, glükozinolátok, étkezési rostok, illóolajok, pigmentek, enzimek, szerves savak, ezért értéknövelt termékek előállításához alkalmazhatók.

### 3.5. Extrakció

Az extrakció az élelmiszeriparban széleskörűen alkalmazott technológia. Használják többek között a zöldség- és gyümölcsfeldolgozó iparban, valamint a gyógyszer-, növényi olaj- és cukorgyártás során.

Az extrakció olyan szétválasztó művelet, ahol a diffúzió fontos szerepet játszik. A szilárd, vagy folyékony fázis egy vagy több komponensét egy másik folyékony fázisba juttatják át. A kivonatolást cseppfolyós, szelektív oldószerrel végzik, mely lehet szerves, vagy szervesetlen oldószer és víz is. Általában atmoszférikus nyomáson végzik, azonban előfordul, hogy a nagyobb nyomás alkalmazása is.

Az extrakció két lépésből áll: a kezelendő folyadék vagy szilárd anyag és az oldószer érintkeztetése a kioldandó komponens(ek) oldószerbe történő átvitele érdekében, és az így kapott, oldott anyagokat tartalmazó extraktum elválasztása a raffinátumtól (visszamaradt anyag). Alkalmazása során fontos utólépés az oldószer visszanyerése az oldott komponensek eltávolításával, mely általában az oldószer elpárologtatásával, vagy desztillációval történik.

A kiinduló anyagok és a felhasznált oldószer halmazállapotától függően három fő csoportja létezik. Az egyik csoport a folyadék- folyadék extrakció, mely esetében az oldószer és a kiinduló elegy is folyadék. Szilárd-folyadék műveletről akkor beszélünk, ha a kiindulási anyag szilárd halmazállapotú, az oldószer pedig folyadék fázisú. Harmadik csoportja a szuperkritikus extrakció, mely során nagynyomású gáz felhasználásával vonják ki az értékes komponenst a szilárd kiindulási anyagból.

Az extrakció hatékonyságát befolyásoló tényezők, az extrahálendő anyag minősége, az oldószer koncentrációja, az érintkezési felület mérete, vagy az alkalmazott hőmérséklet. Ezen paraméterek növelésével javítható a folyamat hatékonysága.

Az extrahálószer típusa sem elhanyagolható szempont. Az alkalmazott oldószernek számos szigorú követelménynek kell megfelelnie: szelektív legyen a kioldandó komponensre nézve, az oldószer visszanyerése miatt könnyen elpárologtathatónak kell lennie, ne legyen mérgező hatású, fajhője, párologáshője, sűrűsége és viszkozitása ne legyen túl nagy, ne legyen tűz- és robbanásveszélyes, olcsó legyen, valamint ne oldódjon a hordozó oldószerben. Az élelmiszeriparban használható extrakciós oldószer az Európai Unió szabályozás, a GMP



(Good Manufacturing Practice) szerint a propán, bután, etil-acetát, etanol, szén-dioxid, aceton, nitrogén-oxid, valamint a víz, és az egyéb oldószer tulajdonsággal rendelkező élelmiszerek.

Munkám során mikrohullámmal elősegített extrakcióval (MAE - Microwave Assisted Extraction) végeztem a kivonat készítést a céklahéjból, desztillált vizet használva extrahálószerkén. Általánosságban elmondható, hogy az élelmiszeriparban a természetes termékek számos komponensét, például illóolajokat, bioaktív komponenseket és pigmenteket az extrakció hagyományos technikáinak alkalmazásával nyerik ki. Ezen módszerek, például a melegítés, a forralás, a Soxhlet extrakció és a hideg extrakció, mindegyike a hosszú extrakciós időtartam és az alacsony extrakciós hatékonyság miatt korlátozott.

A mikrohullámmal segített extrakció (MAE) ígéretes alternatívája a hagyományos módszereknek. Számos tanulmány (Nkhili et al. 2009) számolt be a MAE előnyeiről a konvencionális extrakcióval szemben, mint például a csökkentett feldolgozási idő, az alacsonyabb oldószer és energiaigény, valamint a nagyobb hozam. Továbbá azt is fontos megemlíteni, hogy a magas hőmérsékleten való alkalmazásának kiváltásával elkerülhető a polifenolok és pigmentek nagymértékű károsodása. A mikrohullámú besugárzás során a sejtek termikus stressznek vannak kitéve, ennek következtében a sejt belsejében a hőmérséklet és a nyomás olyan szintre emelkedik, amely a sejtfalak felszakadását eredményezi, így felszabadulnak az intracelluláris vegyületek (Cardoso-Ugarte et al., 2014). Mivel viszonylag hosszú kezelési időket alkalmaztam figyelnem kellett az extrahálás során elért hőmérsékletre, ezért tiszta oldószerrel végzett előkísérletek alapján hűtési lépéseket eszközöltem bizonyos időtartamú kezelése után.

### **3.6. Membránszűrés**

A membrán olyan permszelektív réteg, amely két vagy több komponensből álló elegy egyes komponenseit átérteszti, másokat pedig részben, vagy teljesen visszatartja. A membrántechnológia a gyümölcslevek tisztítására és koncentrálására használt hagyományos termikus technikák alternatívájaként jelent meg, amelyeket széles körben alkalmaztak a tej- és üdítőitaliparban. Az élelmiszeriparban a membrános elválasztási módszereket a szűréshez képest kisebb munkaerőigényük, nagyobb hatékonyságuk és rövidebb feldolgozási idejük miatt használják. Következésképpen a membrán eljárások alkalmazásának működési költségei jelentősen alacsonyabbak, mint az eddig használt eljárásoké, valamint az ipari hőkezeléssel ellentétben a termékekben található értékes komponensekkel szemben is kíméletesebbek.

Minden olyan eljárást, amelyben egy membránon keresztül szelektív transzport megy végbe valamely hajtóerő hatására, membránműveletnek nevezünk. Ezen műveletek általában csak fizikai szétválasztáson alapulnak, a komponenseken sem termikus, sem kémiai, sem biológiai változások nem mennek végbe. Hajtóerejük a nyomás, koncentráció, elektrokémiai potenciál és hőmérséklet-különbség által létrehozott kémiai potenciálkülönbség a membrán két oldalán. Permszelektivitásnak nevezzük a membrán azon tulajdonságát, hogy különböző anyagokat különböző mértékben enged át. Miután betápláltuk a szétválasztani kívánt elegyet a rendszerbe, a kialakuló potenciálkülönbség hatására megkezdődik az elválasztás. A folyamat során a szűrendő anyag komponenseinek egy része áthalad a membránon, és a permeátum (szűrlet) oldalon távozik. A membrán által visszatartott komponensek a membrán betáplálás felőli oldalán feldúsulnak, ez a retentátum (sűrítmény) (Takács, 2010).

A vágási érték (MWCO – Molecular Weight Cut Off) azt mutatja meg, mi az a molekulatömeg, amelyet a membrán még 90 %-ban képes visszatartani. A transzmembrán nyomáskülönbség ( $\Delta p_{TM}$ ) a membrán két oldalán uralkodó nyomások különbsége. A membránszűrés egyik legfontosabb mérőszáma a fluxus (szűrletteljesítmény), ami azt adja meg, hogy adott felületen mennyi szűrlet képződik egységnyi idő alatt. Egy másik paraméter a membránok visszatartása, ami egy százalékos érték és azt mutatja meg, hogy a visszatartandó komponens mekkora része került a permeátumba.

A membránszűrési műveleteket pórusméretük és visszatartott komponenseik alapján az alábbi csoportokra bonthatjuk: mikroszűrés (MF), ultraszűrés (UF), nanoszűrés (NF), fordított ozmózis (RO). Ezeket mutatja be a(z) 5. táblázat.

5. táblázat: Membránszűrés fajtái (Takács, 2010)

Membránművelet	Méret-tartomány	Vágási érték	Hajtóerő, bar	Átengedett komponensek	Visszatartott komponens
Fordított ozmózis	0,1-1 nm		10-60 (100)	oldószer	egyértékű ionok
Nanoszűrés	1-10 nm	100-500 Da	10-20 (40)	egyértékű ionok	kétértékű ionok
Ultraszűrés	0,01-0,1 $\mu\text{m}$	1-1000 kDa	3-8	ionok	makromolekulák
Mikroszűrés	0,1-10 $\mu\text{m}$		1-3	makromolekulák, ionok	lebegő részecskék

A továbbiakban részletesen csak az általam használt fordított ozmózis tulajdonságait mutatom be.

A fordított ozmózis során használt membránok pórusmérete 0,1–1 nm mérettartomány közötti, az alkalmazott transzmembrán nyomáskülönbség értéke 10–60 bar közötti. Ezek a membránok már az egyértékű ionokat is képesek 95–98%-ban visszatartani és csak az oldószert engedik át.

Az RO fő alkalmazási területe a tengervíz sótalanítása (Elnour et al., 2020), de az élelmiszerfeldolgozó iparban az értékes összetevők koncentrálására, tisztítására és visszanyerésére, valamint gyümölcslevek előkoncentrálására használják. Más membránseparációs eljárásokkal, például mikroszűréssel és ultraszűréssel kombinálva is alkalmazható. Energiaigénye jelentősen alacsonyabb, mint a hagyományos technológiáké. A módszer magas hőmérsékleten végzett eljárásokkal szembeni előnye, hogy a termék hőhatás miatti minőségi romlása jelentősen csökken, és az eljárás alacsonyabb költségűvé válik. A fordított ozmózis további előnyei az elválasztás jobb minősége, a komponensek minimális hőkárosodása, az alacsony hulladéktermelés és könnyű kezelés, a kisebb helyigény és az alacsonyabb beruházási ár. Hátrányai közé tartozik a korlátozott üzemi nyomás, a membránok viszonylag magas ára és korlátozott élettartama, valamint a filmes szennyeződés bizonyos nyersanyagok esetében (Bhattacharjee et al., 2017).

### **3.7. A tej**

A tej élettani jelentősége miatt az ősidők óta fontos az emberiségnek. Az ősemberek kezdetben valószínűleg közvetlenül az állatokból, később pedig már fejés után, nyersen fogyasztották a tejet. A tejtermelésre használt állatfajok házasítása i. e. 6000-2000 közöttre tehető. A különböző fajok más-más tájakon szaporodtak el az adott vidék klímaviszonyai és környezeti feltételei miatt. Példának okáért a szarvasmarha-tenyésztés Amerika északi, illetve Európa egyes - gazdagabb vegetációval bíró - régióiban vált jellemzővé.

A tejtermékek készítése is a házasítás területeiről, a görög, római, babilóniai, egyiptomi, perzsa, kínai és indiai fejlett kultúrákból ered. Az i. e. 3500-3000 közötti időszak írásos feljegyzései és leletei arra engednek következtetni, hogy a tejet kezdetben csak nyersen, természetes állapotban fogyasztották, később azonban már gyakrabban savanyították azt. Ezer évvel később felfedezték a sajt- és a vajkészítés technikáját.

Az egyre bővülő tejfeldolgozási technikák révén újabb tejből készült termékek jelentek meg, mint például a joghurt. Megnövekedett a tejfogyasztás és felhasználás iránti igény, mely a nagyobb tejhozamú állatfajok elterjedését ösztönözte. A tehéntej-termelés a 15. századtól kezdve fokozatosan háttérbe szorította a juh- és a kecsketejet olyannyira, hogy alig száz év leforgása alatt dominánssá vált.

Az elmúlt évszázadokban Svájc, Hollandia, Németország, Franciaország és a Skandináv államok, a 20. században pedig a Szovjetunió, az USA, Ausztrália és Új-Zéland tejgazdasága is jelentős fejlődésnek indult (Vahid és Kóbori, 2003).

### 3.7.1. A tej jellemzői

Az emlősállatok tejmirigyei által termelt összetett biológiai folyadékot nevezzük tejnek. Színe halvány sárgás árnyalatú fehér, szagtalan, íze édeskés. Az újszülöttek kizárólagos táplálására szolgál, mivel optimális mennyiségben és szerkezetben tartalmazza a szükséges táplálóanyagkomponenseket (Szakály, 2001).

A vér szállítja az előállításához szükséges anyagokat, azonban nem a szüredéke. A tejképző hámsejtek anyagcsere-folyamatainak terméke. A tejelválasztás a magzat születésekor kezdődik és a fiatal állat önálló táplálkozásának kezdetéig tart. A tej a természetben előforduló legbonyolultabb összetételű mirigy termék (Vahid és Kóbori, 2003).

### 3.7.2. A tej összetétele

A tej emulziós fázisban zsirokat, kolloidális fázisban fehérjéket és valódi oldatban tejcukrot, ásványi anyagokat és vitaminokat tartalmaz. Ezen fázisokból épül fel strukturálisan az összetett polidiszperz kolloidrendszer, melynek diszperziós közege a víz. Az egyes fázisok dinamikus egyensúlyban vannak egymással (Szakály, 2001).

Valamennyi emlős teje azonos anyagokból áll, ezek mennyiségében és arányában azonban állatfajonként lényeges az eltérés. Az állatok teje két csoportba osztható a bennük található fehérjék alapján: kazein-és albumintejekre. Ezek emészthetőségében vannak főbb különbségek. Kazeintejet termel a tehén, a bivaly, a juh és a kecske, az albumintejet termelők közé tartozik a sertés, a ló, a szamár és az ember is (Vahid és Kóbori, 2003). A különféle tejek összetételét a 6. táblázat szemlélteti.

6. táblázat: Különböző fajok tejének összetétele %-os arányban (Juhász és Zsembeli, 2005)

	szarvasmarha	juh	kecske	sertés	ló	ember
víz	87,3	80,7	86,8	81,2	88,8	87,6
zsír	3,7	7,4	4,5	6,8	1,9	3,8
fehérje	3,5	6,2	3,8	4,8	2,1	1,6
cukor	4,8	4,8	4,1	5,5	6,2	7,0
ásványi anyag	0,7	1,0	0,8	–	0,5	0,2

Az összehasonlítás igazolja, hogy ugyanazon alkotórészek találhatók meg az állatok tejében, arányaikban azonban jelentős eltérések mutatkoznak. A zsír és a fehérje tartalmakban látható a legnagyobb különbség.

Fajon belül, sőt az egyedek tejének is változhat az összetétele, ugyanis a tej minőségi paramétereinek arányát több tényező is befolyásolja, ilyenek például az időjárás, az évszak, az egészségi állapot, a fejés technikája, gyakorisága, vagy a takarmány összetétele (Suksombat et al., 2013).

A továbbiakban kizárólag a tehéntej összetételét mutatom be részletesen, mivel munkám során ezt használtam a joghurtok elkészítéséhez.

### *3.7.2.1. Víz- és szárazanyag-tartalom*

A tej legnagyobb hányada víz, kisebb része szárazanyag. A víz teszi ki az alkotóelemei legnagyobb hányadát, 80-90 %-ot. Jelenléte igen fontos, ugyanis a tej vízzoldható komponenseinek oldószere, valamint az emulziós fázisban jelenlévő zsírgolyócskák, illetve a kolloid oldatban található fehérjerészecskék diszperziós közege. Nagyobb része, körülbelül 96 %-a teljes oldóképességgel rendelkező szabad víz. A fennmaradó 4 %-a főként fehérjékkel asszociálódott állapotban, így oldékonyságában és mozgékonyságában részben, vagy egészben korlátozott, strukturálisan, vagy kémiaailag kötött formában van jelen (Szakály, 2001).

A víz aránya változó lehet a tejben. Télen kevesebb a víztartalma, nyáron, a zöldtakarmányozással bevitt víztöbblet miatt enyhén magasabb. Ritkán a kiugróan magas víztartalom is tapasztalható, amelynek természetes oka a tehén egyedi adottságai lehetnek. Az ilyen, normálisnál magasabb víztartalmú tej azonban legtöbbször a vízzel történő hígítás, azaz a tej vízzel történő hamisításának eredménye. Ez azonban könnyen kimutatható a sűrűség mérésével (Fenyvessy et al., 2014). A tej a víznél sűrűbben folyó folyadék, ezen a tulajdonsága azonban a hőmérsékletével változik. A meleg tej hígabb, mint a hideg. Sűrűsége 15 °C-on átlagosan 1,032 g/cm<sup>3</sup> (Vahid és Kóbori, 2003). A fagyáspont megállapításával az idegen-víz pontos mértéke meghatározható (Tóth és Bak, 2001), ez látható a 7. táblázaton.

7. táblázat: A tej fagyáspontjának és idegenvíz-tartalmának összefüggése  
(Tóth és Bak, 2001)

Fagyáspont (°C)	Vezettség (%)
-0,52	0
-0,51	1,82
-0,50	3,64
-0,49	5,45
-0,48	7,27
-0,47	9,09
-0,46	10,90
-0,45	12,72

A szárazanyag a víz elpárolgatása után fennmaradó rész. A szárazanyag-tartalom a tej alkotórészeinek mennyiségétől függ (8. táblázat). A zsírmentes szárazanyag-tartalom (kb. 9 %) az összes szárazanyag zsír nélküli része, mely igen szűk határok között ingadozik. A tej vízzel történő hamisítás során a szárazanyag mennyisége a hozzáadott víz arányában csökken, ezért meghatározásával kimutatható a tej idegen-víz tartalma (Vahid és Kóbori, 2003).

8. táblázat: A magyar tarka tehén tejének átlagos összetétele (Vahid és Kóbori, 2003)

víz				87,3%
zsír			3,7%	
fehérjék	kazein	2,9%	3,5%	12,7% szárazanyag
	albumin	0,55%		
	globulin	0,05%		
tejcukor			4,8%	
tejsók			0,7%	
összesen:				100,0%

### 3.7.2.2. Fehérje- és aminosav tartalom

A tehéntejben kb. 3,1–3,4 % a fehérjék aránya. Általában 0,3–0,5%-kal kevesebb a zsírtartalomnál. A fehérjék amellet, hogy a tejtermék jelentős többségének lényegét jelentik, a tej fehér színének kialakításában is fontos szerepet játszanak (Fenyvessy et al., 2014). A tejben található nitrogéntartalmú anyagok 95%-át fehérjék alkotják, a fennmaradó 5%-ot pedig az úgynevezett nem fehérje természetű anyagok. A 9. táblázat a tehéntej átlagos fehérje-összetétele látható.

9. táblázat: A tehéntej átlagos fehérje-összetétele  
(tejfehérje=100%) (Fenyvessy et al., 2014)

			⇒ $\alpha_2$ -kazein ~ 50%
F		⇒	$\alpha$ -kazein ~ 62%
E	⇒ Kazeinfehérjék ~ 80%	⇒	⇒ $\kappa$ -kazein ~ 12%
H		⇒	$\beta$ -kazein ~ 15%
É		⇒	$\gamma$ -kazein ~ 3%
R	⇒ Savófehérjék ~ 19%	⇒	hőérzékeny ~ 14%
J		⇒	⇒ albumin ~ 10%
É		⇒	⇒ globulin ~ 4%
K	⇒ Egyéb ~ 1%	⇒	hőstabil ~ 5%
		⇒	laktoferrin
		⇒	laktollin
		⇒	membránfehérjék

A két legfontosabb tejfehérje a kazein és a savófehérjék (Tóth és Bak, 2001). Elsődleges felépítésükben azonosak, amino- savakból álló peptidek és polipeptid láncok alkotják őket. Ezek különböző kötésekkel, például diszulfid-, vagy hidrogénhid-kötésekkel kapcsolódnak egymáshoz, ez által képesek kialakítani a kettős hélix szerkezet (Szakály, 2001).

A kazeinek ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -kazein) foszfortartalmú fehérjék. Ezek adják a tej összes fehérjetartalmának kb. 80%-át. Jellemzőjük, hogy 4,6 pH-jú sav és oltó hatására denaturálódnak, ez okozza a tej alvadását. Ezen tulajdonságukra épül a savanyított termékek és részben a túró- és sajtfehérjék gyártásának technológiája.

A savófehérjék legtöbbje sav és oltó hatására nem denaturálódik, a hőre viszont érzékenyek. Hődenaturációjuk kb. 60 °C-on indul meg és 90 °C felett válik nagyobb mértékűvé. A sajtfehérjék gyártása során nagy mennyiségű savó keletkezik, amellyel a savófehérjék nagyobb része eltávozik. Egyes termékeknel magas hőmérsékletű (85–92 °C) kezeléssel csökkenteni tudják a savófehérjék távozását. A technika alapja, hogy a hőkezeléssel denaturált fehérjék részben képesek beépülni az alvadék szerkezetébe. Hasonló módszerrel vissza lehet nyerni a további felhasználásra szánt savófehérjéket. Ezt a jelenséget leginkább a savósajtok (orda) készítésénél használják. A savófehérjék fő összetevői az alábbiak: vérsérum albumin, laktalbumin, amely hő hatására könnyen kicsapódik,  $\alpha$ -,  $\beta$ -laktoglobulin és különböző immunglobulinok. Az egyéb fehérjék, például membrán és burokfehérjék, az összes fehérjetartalom összesen 1%-át adják. Globulárisak, oltó hatására nem, de 100 °C-os hőmérsékleten Ca-ionok jelenlétében, vagy sav hatására azonban kicsapódnak. Másodlagos emulgeátorokként igen nagy a jelentőségük.

A kazein és a tejsavófehérjék fizikai és kémiai tulajdonságainak főbb különbségeit a 10. táblázatban tüntettem fel.

10. táblázat: A kazein és a tejsavófehérje fizikai és kémiai tulajdonságainak főbb különbségei (Chandan, 1997)

Kazein	Savófehérjék
Erős hidrofób régiók	Hidrofób és hidrofil régiók egyaránt
Foszfátmaradványok	Nincsenek foszfátmaradványok
Alacsony cisztein tartalom	Cisztein- és cisztin-tartalom egyaránt
Véletlenszerű <u>tekerccsszerkeze</u>	Gömbölyded és spirális szerkezet
Nagyon hőstabil	<u>Hődenaturált</u> és kicsapódik
pH 4,6-nál kicsapódik	pH 4,6-nál oldódik
Két- és többértékű ionokkal kapcsolódik	Viszonylag ellenálló az ionokkal szemben

A tejfehérje teljes értékű fehérje, ami azt jelenti, hogy az emberi szervezet számára szükséges összes esszenciális aminosav megtalálható benne. Ezért a tej és a tejtermékek igen értékes tápláléknak számítanak. Az esszenciális aminosavak akkor képesek optimális mértékben hasznosulni, ha szükséges mennyiségben más aminosavak is jelen vannak a szervezetben. A tej és a belőle készült termékek összetétele ebből a szempontból is kedvező (Fenyvessy et al, 2014).

A tehéntejben csaknem az összes aminosav kimutatható szabad állapotban (Tóth és Bak, 2001). Az 11. táblázat a tejfehérjék aminosav-összetételét mutatja be. Megállapítható, hogy a savófehérje esszenciális aminosav-tartalma magasabb a kazeinénél és a tejfehérjénél is. Továbbá az is látható, hogy a metionin a cisztinnel együtt a leglimitálóbb aminosav, ugyanis ezek vannak jelen a legkisebb mennyiségben, az emberi szervezet minimális napi igénye azonban ezekből a legmagasabb. Együttes napi igényük kielégítéséhez körülbelül 917 g tej szükséges, míg a többi esszenciális aminosavhoz 300-500 g közötti tejmennyiség elegendő (Szakály, 2001).



11. táblázat: A tejfehérjék aminosav összetétele, valamint az emberi szervezet napi-igénye az esszenciális aminosavakból (Szakály, 2001 nyomán)

Az aminosav					
megnevezése	mennyisége 100 g fehérjében [ g ]			esszenciális mennyisége 100 g tejben [ g ]	minimális napi igény [ g ]
	tejfehérjé-ben	kazeinben	savófehérjében		
Triptofán (Trp)	1,4	1,4	2,1	0,05	0,25
Fenilalanin (Phe) +Tirozin (Tyr)	10,5	11,1	7,3	0,35	1,1
Leucin (Leu)	10,4	10,4	11,1	0,34	1,1
Izoleucin (Ile)	6,4	5,7	6,8	0,21	0,7
Treonin (Thr)	5,1	4,6	8,0	0,17	0,5
Metionin (Met) + Cisztin (Cys)	3,6	3,1	4,8	0,12	1,1
Lizin (Lys)	8,3	8,3	9,9	0,27	0,8
Valin (Val)	6,8	6,8	6,8	0,22	0,8
Hisztidin (His)	2,8	2,9	2,2		
Arginin (Arg)	3,7	4,0	3,0		
Prolin (Pro)	10,1	11,2	5,2		
Alanin (Ala)	3,5	3,1	5,0		
Aszparaginsav (Asp)	7,9	7,3	11,3		
Szerin (Ser)	5,6	5,8	5,2		
Glutaminsav (Glu)	21,9	23,0	19,2		
Glicin (Gly)	2,1	2,1	2,2		

A fehérjeláncok összecsavarodva fehérjemicellákat alkotnak. A savófehérjék nem szerveződnek tovább, a kazeinek viszont összetettebb struktúrákat hozhatnak létre. A kalcium,

valamint a foszfor megkötésének és hordozásának képessége teszi lehetővé számukra, hogy kazeinmicelláknak nevezett komplex részecskéket alkossanak. A kalciumfoszfátot kolloidális formában tartalmazzák, továbbá az egyes egységek külseje hidrofil-burokkal rendelkezik.

A kazein szub- és komplex micellái egyensúlyban vannak, ami függ a tej kalcium ion tartalmától. Elvonásával a szubmicellák képződését, hozzáadásával a komplex kazeinmicellák kialakulását segíthetjük elő (Szakály, 2001).

### 3.7.2.3. Zsírok, zsírszerű anyagok

A tej emulziós fázisa tejszírből, a benne oldott zsíroldható vitaminokból és színezékekből, membránanyagokból (lipoidok és membránfehérjék), valamint adszorbeált anyagokból, például vasból, rézből, és hidrátvízből áll (Szakály, 2001).

A tejszír aránya a tehéntejben átlagosan 3,7 %, de mennyisége 2,8–5,5 % között ingadozhat. A tej zsírtartalma több tényezőtől függ, ilyenek például a tejelési időszak, mely végéhez közeledve hígul a tej, a takarmányozás, mivel a zöldtakarmányok csökkentik a zsírtartalmat, valamint az állat fajtája (Fenyvessy et al., 2014).

A tejszír, mint általában a zsírok, szinte 100%-ban trigliceridekből áll.

Három zsírsavmolekula kapcsolódik a glicerin három hidroxil-gyökéhez vízkilépés mellett. A tejszírt alkotó trigliceridekben több, mint 60-féle zsírsav található (Fenyvessy et al., 2014). Nagy mennyiségben vannak jelen a rövid és közepesen hosszú szénláncú zsírsavak és létfontosságú esszenciális zsírsavakat is tartalmaz. Ezek közül a legjelentősebbeket a 12. táblázat mutatja be.

12. táblázat: A tejszír trigliceridjeit alkotó legfontosabb zsírsavak és előfordulási arányuk (Szakály, 2001 nyomán)

A fontosabb zsírsavak		
megnevezése	koncentrációja a tejszírből (%)	
	átlag	szélső értékek
Telített zsírsavak		
Vajsav	3,6	2,5-6,2
Kaprónsav	2,3	1,4-3,8
Kaprilsav	1,3	0,5-1,9
Kaprinsav	2,7	1,9-4,0
Laurinsav	3,3	1,9-4,7
Mirisztinsav	10,7	7,8-14,0
Peutadekánsav	1,2	0,4-2,3
Palmitinsav	27,6	22,0-41,9
Sztearinsav	10,1	6,2-13,6
Egyszeresen telítetlen zsírsavak		
Mirisztolajsav	1,4	0,3-2,6
Palmitolajsav	2,6	0,9-4,6
Olajsav	26	19,7-34,0
Többszörösen telítetlen zsírsavak		
Linolsav	2,5	0,8-5,2
Linolénsav	1,4	0,3-2,9

Az adatokból könnyen kiszámítható, hogy a telített zsírsavak aránya a legmagasabb, összesen 63,7%, az egyszeresen telítetleneké 30,0%, míg a többszörösen telítetlen zsírsavak mennyisége a legkevesebb, csupán 3,9%. A fennmaradó 2,4%-ban kevésbé jelentős zsírsavakat tartalmaz. Összességében a telített és telítetlen zsírsavak aránya megközelítőleg 60:40 (Szakály, 2001).

A zsírsavösszetétel jelentősen befolyásolja a tejszír olvadási tulajdonságait, ezzel együtt a zsíros tejtermékek, elsősorban a vaj állomány-tulajdonságait is. A két legnagyobb arányban előforduló zsírsav a telített palmitinsav és az egyszeresen telítetlen olajsav. Szobahőmérsékleten a palmitinsav szilárd, az olajsav viszont folyékony, így az állomány-tulajdonságokat főként e két zsírsav egymáshoz viszonyított aránya határozza meg. Azonban további befolyásoló tényező a zsírsavak száma, hossza, telítettsége és elhelyezkedése a glicerin molekulában.

A zsírok nem oldódnak vízben, stabilizálásukért a membránburok felelős. Ez az emulgens hatású réteg biztosítja a folyamatos átmenetet a zsírfázis és a vízfázis között. Az elsőrendű membránburok fő komponensei a lipoidok. Három fő csoportját különböztetjük meg, melyek a foszfolipoidok ( $\alpha$ -lecitin,  $\alpha$ -kefalin, szfingomielin), a glikolipoidok (cerebrozidok) és a szterinek (ergoszterin, 7-dehidrokoleszterin). Ezen molekulák felépítésére általánosan jellemző, hogy egy hidrofil és egy lipofil részt is tartalmaznak. Igen jó példa erre az  $\alpha$ -lecitin,

amely egyik vége zsírban oldódó zsírsavészter, a másik vége azonban vízben oldódik, ezen tulajdonságai miatt képes hidrátburok kialakítására.

A membránfehérjék a másodlagos emulziós réteg alkotóelemei. Ők teszik ki a zsírgolyócskák membránanyagainak felét. A tej összes-fehérjetartalmára vonatkoztatott mennyiségük azonban igen alacsony, mindössze 1%. Az emulziós fázishoz a lecitin hidrofil részéhez kapcsolódva kötődnek. A membránburokot hidrátburok veszi körül, amely tartalmazza az emulziós fázisban jelenlévő, részben oldott, részben adszorbeált állapotú zsírolldható vitaminokat és színezékeket.

#### 3.7.2.4. *Tejcukor (laktóz)*

A tejben található szénhidrátok közül a laktóz a legfontosabb. A tejcukor egy redukáló diszacharid Egy  $\alpha$ -D-glükózból és  $\beta$ -D-galaktózból épül fel, melyek egymáshoz 1-4 glikozidos kötéssel kapcsolódnak. Két térbeli formája, izomerje fordul elő, az  $\alpha$ -laktóz és a  $\beta$ -laktóz, amelyek egymástól csak forgató képességükben térnek el, vizes oldatban egyensúlyban vannak egymással. A tej laktóztartalma viszonylag állandó, 4,6–5,1% között mozog (Fenyvessy et al., 2014). A tejcukor jelentősége egyrészt pozitív élettani hatásából fakad, másrészt abból, hogy a tejtermékgyártás hasznos mikrobáinak legnagyobb tápanyagforrása. A tej édeskés ízéért felelős, bár édesítőereje viszonylag kicsi. A szacharóz édesítő képességét 100%-nak tekintve a laktózé ehhez képest csak 27-39%, a glükózé 72%, a galaktózé 63%. A bélben található tejsavbaktériumok a tejcukor bontásával tejsavat erjesztenek. A keletkező tejsavas közegben az ásványi-anyagok felszívódása 6-15%-kal javul, valamint a vitaminok bomlását is lassítja. Emellett gátolja a bélben megtelepedő idegen flóra terjedését, ezzel hozzájárul a bél pH-jának egészséges fenntartásához. Szintézis folyamatokban, például az izom- és máj-glikogének képzésében is szerepet játszik. A galaktóz fehérjékkel, vagy zsírokkal kapcsolódva beépül a porcokba, kötőszövetekbe, valamint az idegrendszer felépítésében is fontos szerepet játszik. Komplexei a belső érhártyába kerülve elősegítik az erek regenerálódását és csökkentik a koszorúér-problémák kialakulásának kockázatát.

#### 3.7.2.5. *Ásványi anyagok*

A tejben található ásványi anyagok nagyobb része a tejszérumban oldott, ionos formában, másik része, a kalcium, magnézium és a foszfor, viszont fehérjékhez kötötten a kolloidfázisban is jelen van. Az ionos és a kolloid formák egymással egyensúlyban vannak, amely bármilyen változás hatására (pl. savanyodás, oltós alvadás) más egyensúlyi formává képes átalakulni. A tejben megtalálható elemeket a 13. táblázatban tüntettem fel az emberi szervezet napi igényeivel együtt (Szakály, 2001).

13. táblázat: A tej makro- és mikroelem-tartalma (Szakály, 2001)

Az elemek megnevezése		Koncentráció, mg/100 g	A kolloid forma aránya tejben, %	Napi szükséglet, mg
<i>Makroelemek:</i>	kalcium	120	60	800
	foszfor	95	62	1000
	kálium	145	–	1500
	nátrium	50	–	1150
	klór	100	–	2000
	magnézium	13	27	300
<i>Mikroelemek:</i>	réz	0,17	–	2
	vas	0,17	–	12
	cink	0,21	–	7
	jód	0,01	–	0,2
	alumínium	0,07	–	0,02

Mennyiségük a tejben 0,7% körüli, amely a laktáció folyamán alig változik, a sótartalom belül az egyes alkotórészek mennyisége azonban ingadozó. A kalcium és a magnézium koncentrációja állandó, a kálium és a foszfosav a laktáció során kezdetben emelkedik, majd lassan csökkenni kezd. A nátrium mennyisége először csökken, majd az el- apasztás előtt megnövekszik. A klórtartalom az egész laktáció folyamán emelkedik.

A tej a legfontosabb ásványi anyagai a kalciumsók, a foszfátok, a citromsav sói, továbbá a kálium, a nátrium, a magnézium, a klór és a jód sói. A friss tejet lakmuspapírral vizsgálva egyszerre lúgos és savas (amfoter) kémhatást tapasztalunk, amely a foszfor részben savas, részben lúgos sóinak tudható be (Vahid és Kóbori, 2003).

Különösen előnyös a tej ideális kalcium-foszfor aránya (1,5:1), melynek köszönhetően a tejet kiemelt kalciumforrásként ismerjük el. Fontos tényező a tej szeléntartalma is, amelynek daganatképződést gátló hatása ismert.

Fontos tényező a tej nátrium/kálium 0,3-as aránya. Táplálkozásunk szempontjából az ideális arány 1. Különböző felmérések szerint az emberek többségénél azonban ez az érték 3–4 között található. Ezért a rendszeres tejfogyasztás hozzájárul a túlzott nátriumfogyasztás kompenzálásához. Kísérletek bizonyítják, hogy az 1 alatti nátrium-kálium arány megelőzi a magas vérnyomás kialakulását.

A mikroelemek közül a cink és a króm bír a legnagyobb jelentőséggel. A cink az anyagcsere-folyamatokban sokoldalúan vesz részt, ezért kiemelt fontosságú a szervezet számára. A tej cinktartalma igen figyelemre méltó, fél liter fedezi a napi cinkszükséglet 20%-át. A króm a koleszterinszintet csökkentő és a cukortűrő-képességet fokozó króm-nikotinsav faktor alkotóeleme. Hozzájárul továbbá a szívroham kockázatának és a cukorbetegség kialakulásának

csökkentéséhez. Fél liter tej elfogyasztásával fedezhető a napi krómszükséglet több mint 50%-a (Fenyvessy et al., 2014).

### 3.7.2.6. Vitaminok

A vitaminok 0,1% alatti mennyiségben találhatók meg a tehéntejben. S habár sokféle vitamint tartalmaz (x. táblázat), mégsem tekinthető teljes értékű vitaminforrásnak, ugyanis egyes vitaminokból (pl. Br, C-, D3-) nem tartalmazza az emberi szervezet számára szükséges mennyiséget. A hiányzó vitamin mennyiségeket a tej aminosavai részben képesek pótolni. A vízben oldódó vitaminok (B1, B2, B3, B5, B6, B8, B9, B12 és C) főként a sovány tejben találhatók, a zsírban oldódó vitaminok (A, D, E és K) főként a tejszírban lelhetők fel. A tej vitamintartalma függ a takarmány összetételétől és vitamintartalmától, a tehén egészségi állapotától, a laktációs időszaktól és az állatot érő napfény mennyiségétől (Vahid és Kóbori, 2003).

Táplálkozás-élettani jelentőségükön túl a tejfeldolgozásban is fontos szerepet játszanak, mivel az alkalmazott színtenyészetek mikrobáinak is szükségük van vitaminokra a megfelelő aktivitás érdekében. A fermentált készítmények gyártása során az is előfordul, hogy az alkalmazott kultúrák vitaminokat termelnek, így a termékek vitamintartalma magasabb lesz, mint a kiindulási tejé. A tej vitamin tartalmát a 14. táblázat szemlélteti.

14. táblázat: A tej vitamin tartalma (Goff és Hill, 1993)

Vitamin	µg/100 g	Vitamin	µg/100 g
Retinol (A)	40	Riboflavin (B2)	175
Karotin	21	Niacin (B3)	90
Kalciferol (D)	0,1	Pantoténsav (B5)	350
Tokoferol (E)	100	Piridoxin (B6)	50
Fillokinon (K)	5	Biotin (B7)	3,5
Aszkorbinsav (C)	2000	Folsav (B9)	5,5
Tiamin (B1)	45	Kobalamin (B12)	0,45

### 3.7.3. A tej élettani hatásai - tejfehérje allergia és laktóz intolerancia

A tej táplálkozásban betöltött szerepe jelentős. Jó kiegészítője az olcsó, nagy keményítőtartalmú növényi élelmiszereknek, például a kenyérnek és a burgonyának.

Rendszeres fogyasztásával az emésztőrendszerben képződő tejsav elnyomja a vastagbélben szaporodó káros peptonizáló és toxintermelő baktériumokat, valamint ártalmatlanít több kórokozót is. A tej zsírja pozitív hatással van a gyomor- és bélbetegségekben, a máj-, a vese- és az érrendszeri betegségben szenvedőkre. A tejfehérjék javítják a szervezet ellenálló képességét. Purinszegények, így fogyasztásuk nem okoz kösvényt. A tejfehérjék, elsősorban a kazein, jól emészthetőek, továbbá sajátos szerkezetüknek köszönhetően kiemelkedő szerepet tölthetnek be a korszerű táplálkozásban, a kalóriaszegény étrend és elsősorban a lisztérzékenyek és gyomor-betegek diétájának kialakításában (Fenyvessy et al., 2014).

Szót kell ejtenünk ugyanakkor a napjainkban egyre gyakoribbá váló tej emésztésével kapcsolatos problémákról, mint a tejfehérje allergia, vagy a laktóz intolerancia. A tehéntejben több allergén összetevő is megtalálható, melyek allergiás reakciót válthatnak ki. Ezért a tej beletartozik a "Big 8", a nyolc leggyakrabban allergiás reakciót kiváltó élelmiszer típus közé.

A tejfehérje-allergiát valamely enzim csökkent termelése, vagy az enzim teljes hiánya váltja ki. Ilyenkor a nem kellő mértékben bontott, illetve bontatlan fehérjék feldúsulnak az emésztőrendszerben és blokkolhatnak további enzimes folyamatokat, ezzel immunológiai választ vált ki a szervezetben. Kutatások bizonyították, hogy az élelmiszerekben leginkább a nagy molekulású fehérjék (70-80 kDa), mint például az  $\alpha$ -kazein frakció, váltanak ki allergiás reakciót. A tisztán tejfehérjével kapcsolatos allergia a csecsemőknél gyakrabban, valamint többféle formában jelentkezhet. A betegség az európai felnőtt lakosság 1-2%-át, míg a gyermekek 5-7%-át érinti. Nagyon nehezen, vagy egyáltalán nem meghatározható, pontosan melyik fehérjefrakció okozza az allergiát, ezért teljes tejmentes diétát alkalmazásához kell folyamodni (Fenyvessy et al., 2014). A tejfehérjék allergén hatása azonban jelentősen csökkenthető a technológiában használt módszerekkel, például hővel végzett denaturálással, vagy enzimes hidrolízissel. Egy másik lehetséges megoldás a tehéntej kiváltása más tejjel. Egy 200 tehéntej-fehérje allergiában szenvedő beteggel végzett kísérlet alapján a kecsketej a betegek 45%-ánál, a juhtej fogyasztása 99%-uknál nem okozott tüneteket. Ennek magyarázata a fehérjék finom-összetételében lehet.

A laktóz intolerancia is emésztési zavar, melyet szintén enzimhiány okoz. Lényege, hogy a laktózérzékeny emberek szervezetében nem elegendő, vagy hiányzik a laktáz enzim, ezért nem tudják maradéktalanul megemészteni a tejcukrot. Ha a laktóz nem bomlik le a vékonybélben akkor a vastagbélbe jut, ahol zsírsavakká és hidrogéngázzá alakul, ez okozza az enyhébb, vagy súlyosabb tüneteket. Az európai lakosság 14-40%-ánál jelentkezik, az elsődleges (veleszületett) laktóz intolerancia ritka, a másodlagos, amely a kor előrehaladtával alakul ki sokkal gyakoribb.

A tej és a tejtermékek elhagyása nem a megfelelő megoldás, laktózszegény étrenddel, vagyis laktózmentes tejtermékek fogyasztásával küszöbölhető ki. Ezen termékekben a szervezetből hiányzó laktáz enzimmal bontják le a laktózt (Inernet 3.).

### 3.8. Joghurt

A joghurtok lényegében két tejsavbaktérium faj, a *Streptococcus thermophilus* és a *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* segítségével, tejsavas erjesztéssel nyert savanyútej-készítmények. Ősi változata i. e. 9000-8000 évvel ezelőtt jelenhetett meg Mezopotámiában és Egyiptomban. Valószínűleg véletlenszerű tejsavas erjedés során készült. A tej savasodása és alvadása hatékony módot adott a nehezen tárolható tej tartósítására. A következő évszázadok során a házi joghurtok és erjesztett tejek készítésének ismerete az egész világon elterjedt.

A joghurt élő mikroorganizmusokat tartalmaz. Az ilyen probiotikus termékek számos pozitív tulajdonsággal rendelkeznek, mint például a laktóztartalom csökkenése, a tejsav termelődés következtében, ezzel az intolerancia okozta tünetek csökkenése, a mikrobiális fertőzések megelőzése, vagy az immunrendszer serkentése. A *S. L. delbrueckii subsp. bulgaricus* és a *S. thermophilus* egyes törzsei képesek túlélni a bélrendszerben, így a bélflórára, és az emésztésre is pozitív hatással van (Corrieu és Béal, 2016).

#### 3.8.1. Joghurtkészítmények előállítása

A joghurtoknak számos változatát ismerjük, de az előállításukhoz alkalmazott technológiai műveletek a tej beoltásáig közel azonosak. A megfelelő zsírtartalomú tejet kb. 65–70 °C-ra melegítik, majd 150–200 bar nyomáson homogenizálják. Ezt követően 5-10 percen keresztül 90–95 °C-os hőmérsékleten tartással, vagy 20 másodperig 105 °C-os hőntartással pasztörizálják. A tej 42–45 °C-ra történő visszahűtése után 2–5 tömeg% joghurtkultúrával oltják be. A joghurtkultúrát kifejezette a különféle joghurtok gyártásánál használják. A felhasznált törzsek a *Str. thermophilus* és a *Lactobacillus bulgaricus*, melyek megfelelő aránya 1:1, hőmérsékleti optimumuk 37-42 °C. Az arányeltolódás savanyú, jellegtelen terméket eredményez (Fenyvessy et al., 2014).

Natúr joghurt készítésekor ettől a ponttól több eljárás is alkalmazható. Az egyik, hogy beoltás után az alapanyagot betöltik a csomagolásába, ilyenkor az alvasztás már ott történik. Az alvasztást követően a készterméket alacsony hőmérsékleten utóérlelik. Ennél a technikánál ügyelni kell az egyszerre beoltott tej mennyiségére, ugyanis a termofil kultúrával savanyított tej viszonylag gyorsan megalvad.



Egy másik módszer során a tankban történik meg az alvasztás. Ezzel a módszerrel feltörés és habarás után készíthető natúr joghurt, de az alvadékot ízesíthetjük is. Más esetben a már A joghurtokat stabilizálószer hozzáadása után utóhőkezelhetjük, esetleg habosíthatjuk, majd általában melegen töltjük bele a csomagolásba, így a termék eltarthatósági ideje növelhető (Fenyvessy et al., 2014).

### **3.9. Enzimes hidrolízis**

A hidrolízis nem más, mint a kémiai kötések felhasadása víz addíciója révén. Hidrolízissel bomlanak le a természetes makromolekulák egyszerűbb felépítésű, kisebb molekulákra. A hidrolízist katalizáló enzimeket hidrolázoknak nevezzük.

A fehérjék enzimes hidrolízise létfontosságú folyamat mind biológiai mind technológiai szempontból. Az összetett fehérje makromolekulák fizikai-kémiai, funkcionális és táplálkozási tulajdonságainak javítására szolgál, melyet több területen is alkalmaznak, például húskészítmények gyártásánál, hipoallergén csecsemőtápok és a táplálkozási terápiák során használt, nagymértékben hidrolizált fehérjék előállításánál. A fehérjék enzimes hidrolíziséből bioaktív peptidok keletkeznek, melyek az eredeti fehérje makromolekulában inaktívak. A legtöbb bioaktív peptidet gyomor és bélrendszeri enzimek, általában tripszin és pepszin segítségével állítanak elő (Csapó, 2021).

A tej fermentálása során savanyító kultúrák és külső fehérjebontó enzimek hozzáadása után történő hidrolízis során a prekursor fehérjéből szabadulhatnak fel. Bizonyítást nyert, hogy a pepszin, a tripszin és a kimotripszin enzim használata során több vérnyomáscsökkentő peptid keletkezik mind a kazein, mind a savófehérje-frakciók hidrolízisekor. A kazein pepszinnel, majd tripszinnel végzett hidrolízisével immunstimuláló és immungátló peptidok is keletkeztek. Megállapították, hogy a baktérium eredetű proteinázok megváltoztatják a kazein-hidrolizátum immunrendszerre gyakorolt hatását. További pozitívum, hogy a fehérjék kettős enzimes kezelésével csökkenthető a tejfehérjék allergén hatása, ami új típusú funkcionális tejtermékek kifejlesztéséhez vezethet (Csapó, 2021).

#### **3.9.1. Papain**

A papain (EC 3.4.22.2) egy endolitikus növényi cisztein-proteáz enzim. Az éretlen papaja termés (*Carica papaya L.*) héjának felvágásával, majd a kifolyó latex összegyűjtésével és szárításával nyerik ki. Minél zöldebb a gyümölcs, annál aktívabb az enzim. Proteolitikus enzim, tehát képes lebontani az aminosavakból álló szerves molekulákat, a polipeptideket, így döntő

szerepet játszik különböző biológiai folyamatokban. A papain aktivitása kiterjed a fehérjékre, rövid láncú peptidekre, aminosavészterekre és amidkötésekre egyaránt, ezért széles körben alkalmazzák az élelmiszeriparban és a gyógyszeriparban. Kifejezetten előnyösen hasítja a bázikus aminosavakat, különösen az arginint, a lizint és a fenilalanint követő peptidkötéseket. Funkcionalitását egyedi szerkezetének köszönheti. A papain egy egyláncú fehérje, mely 212 aminosavból áll, négy diszulfidhíddal és katalitikusan fontos maradékokkal. Molekulatömege 23 406 Da, izoelektromos pontja 8,75, optimális aktivitása pH 3,0-9,0 között van, ami a különböző szubsztrátokkal változik (Amri et al., 2012). Széles körülmények között aktív. Még magas hőmérsékleten is nagyon stabil valamint szokatlanul ellenállól a denaturáló szerek magas koncentrációjával szemben. Aktív központjában cisztein- és hisztidin-maradványok találhatóak, melyeket merkaptánok és egyéb redukálószerrek aktiválnak, az oxidálószerrek és nehézfémionok pedig gátolják a működésüket. A papain katalizálja a fehérjék, peptidek, amidok, észterek és tioészterek hidrolízisét.

Gyulladáscsökkentő, antioxidáns és antibakteriális tulajdonságokkal rendelkezik. Az élelmiszeriparban a hús és készítményeinek puhítására, fehérjehidrolizátum előállítására, a sörgyártásban a lé tisztítására, a tejiparban a sajtgyártáshoz, a sütőiparban, bőr- és mosószer gyártása során, valamint a növények íz- és színvegyületeinek kivonására alkalmazzák (Alpay és Uygun, 2015).

### **3.10. Fermentáció**

Az erjesztést ősidők óta ismeri az emberiség. A fermentáció a mikroorganizmusok optimális tápanyag-körülmények közötti tenyésztését jelenti, melynek során különböző hasznos metabolitokat állítanak elő (Sevella, 2012). A lehetséges szubsztrátok, a felhasznált mikroorganizmusok és az elkészített termékek óriási változatossága miatt a fermentációs folyamatok rendkívül sokfélék. Az erjesztés egyik fő célja az élelmiszerek tartósítása. A fermentált élelmiszereknek ugyanakkor szigorú minőségi feltételeknek kell megfelelniük. Az erjesztéshez használt mikroorganizmusok metabolikus mintázatát azon sokféle reakció mutatja, amely egy fermentációs folyamat során lejátszódik. Ezen reakciókat alapvetően az organizmus által hozzáférhető energia határozza meg. A mikrobák kétféleképpen szerezhetik meg a növekedéshez szükséges energiát: Az autotróf mikroorganizmusok külső energiaforrást használnak, például napenergiát. A heterotróf mikroorganizmusok szerves szubsztrátok redukálásával nyerik az energiát. Az élelmiszeriparban és a biotechnológiai folyamatokban alkalmazott mikroorganizmusok

általában heterotrófok. A továbbiakban a munkám során alkalmazott tejsavas erjedést részletezem.

A fermentáció a tejfeldolgozásban rendkívül fontos és gyakran használt technológia. Sokféle termék előállításánál alkalmazzák, ilyen például a joghurt, a kefir, vagy az aludttej. Az erjesztés megőrzi a tej létfontosságú tápanyagait, azonban egyes összetevőit módosítja, javítva azok tápanyagtartalmát. Továbbá a fermentált termékek jelentős számban tartalmaznak élő és aktív kultúrákat, melyek egyértelmű egészségügyi előnyöket biztosítanak. Ezért nevezhetjük őket funkcionális élelmiszereknek.

A tej erjedése során a tejsavbaktériumok tejsavvá alakítják a laktóz 20-30%-át. Ezért az erjesztett tejtermékek laktóztartalma alacsonyabb, mint a tejé, így a laktózérzékenyek jobban emészthetik. A tejsavbaktériumok az erjedés szereplői. Morfológiailag Gram-pozitív pálcikák és kokkusok. A növekedésükhöz szükséges optimális hőmérséklet szerint lehetnek mezofilok (20-30 °C) vagy a termofilok (35-45 °C). Laktóz felhasználásával tejsavat állítanak elő, ezért ezt a folyamatot tejsavas erjesztésnek nevezzük. A tejsavbaktériumok lehetnek homofermentatívak és heterofermentatívak. Akkor homofermentatív a folyamat, ha >90%-ban tejsav keletkezik, ekkor egy molekula laktózból négy molekula tejsav keletkezik. Heterofermentatívnak akkor nevezzük, ha tejsav csak <90%-ban keletkezik és mellette egyéb termékek, köztük etanol és szén-dioxid. Ez a baktériumosztály nem rendelkezik aldoláz enzimekkel, ezért nem képesek a glikolitikus útvonalon keresztül erjeszteni a laktózt. Egy molekula laktózt két molekula tejsavvá, etanollá és szén-dioxiddá bontanak.

Az erjedés során a kolloidális kalcium-foszfát fokozatosan ionos formába alakul, ahogy a tejben lévő 6,6-os pH értékről 4,6 alá csökken az egyre növekvő tejsav koncentráció miatt. A kazein és a kölcsönhatásba lépett savófehérjék a 4,6-os pH-nál lévő izoelektromos ponton koagulálnak. Így kapják a fermentált tejtermékek sűrű állagukat (Chandan, 2007).

## **4. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK**

### **4.1. Vizsgált anyagok**

A kísérlet elvégzéséhez a Lidl üzletlánc várpalotai üzletében szereztem be 3,5 kg *Beta vulgaris* L. (*Rhonda*) fajtájú céklát, mely hámozásával körülbelül 400 g céklahéjhoz jutottam.

### **4.2. Felhasznált vegyszerek**

Desztillált víz, lemezes NaOH, metil-alkohol, Folin-Ciocalteu reagens, vízmentes nátrium karbonát, szilárd galluszsav, kristályvizes nátrium-acetát, ecetsav, szilárd 2,4,6-tri-(2-piridil)-s-triazin, 37%-os sósav oldat, kristályvizes vas (III)-klorid, szilárd aszkorbinsav por.

Papain enzim (Merck Life Science Kft. Budapest), FD-DVS YF-L812 Yo-Flex® fagyasztva szárított termofil joghurtkultúra, mely *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* és *Streptococcus thermophilus* törzseket tartalmaz,  $\beta$ -galaktozidáz enzim.

Nátrium-dodecil-szulfát (SDS), 2-merkaptóetanol, glicin, trisz-hidroxi-metil-amino-metán (tris), triklór-ecetsav oldat, 0,2 % Coomassie Blue festék, Bio-Rad Mini gélelektroforézis lapok.

Spar üzletben vásárolt epres és meggyes ízesítésű Jogobella joghurt, illetve 1,5%-os Mizo UHT tej, melynek fehérje, laktóz és zsírkoncentrációja átlagosan 30 g/L, 47 g/L, 15 g/L.

### **4.3. Módszerek**

Vizsgálataim célja az élelmiszeripari gyártástechnológiában keletkező melléktermékek újra felhasználása és a különböző tejtermékek funkcionális tulajdonságainak és tápértékének javítása volt. A zöldségfeldolgozás során nagy mennyiségben keletkező egyik ilyen melléktermék a zöldségek héja. Ez azonban még jelentős mennyiségben tartalmaz antioxidánsokat és fenolos vegyületeket. A cékla héja továbbá alkalmas színanyagok kinyerésére, mely természetes színezékként alkalmazható. Ezek a vegyületek másodlagos alapanyagként felhasználhatók az élelmiszeriparban. Fontos volt számomra az a szempont is, hogy az általam elérhető legzöldebb technológiákat alkalmazzam.

#### **4.3.1. Extrakció**

A céklahéjból víz felhasználásával mikrohullámú extrakció útján állítottam elő a kísérlethez szükséges céklahéj extraktumokat. A céklát már tisztítva vásároltam, így egy alapos öblítést követően meghámoztam azt. Az így összegyűjtött héjat Retsch Grindomix GM200 típusú

laboratóriumi darálóval aprítottam 10.000 rpm (Revolutions Per Minute) fordulatszámon, 6 percig. A darált céklahéjból táramérlegesen kimértem 45,0 g-ot, majd 1,5 L desztillált víz hozzáadásával mikrohullámú sütőben megkezdtem az extrakciót. A kísérletet állandó, 30 g/L koncentráción és három különböző teljesítményen, 100W, 450W, 800W, végeztem. A kezelési idő mindhárom esetben 30 perc volt, a hőmérsékletet 5 percenként mértem. 450 W-on a 10. perctől, 800 W-on pedig már az 5. perces kezelést követően 5 perces jégfürdős visszahűtéseket alkalmaztam, hogy szigorúan 60 °C alatt tartsam az extraktumok hőmérsékletét. 100 W-on a 30 perces kezelési idő lejártá után 30 perces, 400 W-on 5 perces pihentetési időt alkalmaztam, így mindhárom teljesítménynél 1 óra volt a céklahéj tartózkodási ideje. Ezt követően konyhai szűrő alkalmazásával előszűrést, majd 90 mm átmérőjű, 0601A00006 Filtres Fioroni szűrőpapírral, -0,8 bar nyomáson vákuumszűrést végeztem. Teljesítményenként két mérést végeztem, így 3-3 L extraktumot készítettem. A mintákat további felhasználásig hűtőszekrényben, fagyasztva tároltam.



1. ábra: Vákuumszűrés

#### **4.3.2. Membránszűrés**

Az egyenként háromliteres extraktumokat felolvasztottam, majd belőlük 25-25 ml mintát vettem későbbi analitikai vizsgálatokhoz. Az extraktum besűrítését DDS membránszűrő berendezéssel és az abba épített fordított ozmózis membránnal (X20) végeztem 30 °C hőmérsékleten, 40 bar nyomáson és 500 L/h térfogatáramon. A besűrítést 2250 mL permeátum elvételeig (VRR = 4,1034) történt. A szűrlet mennyiségének 200 mL-rel (kivétel: az utolsó elvétel 250 mL) történő növekedéséhez szükséges időket mértem. A megfelelő mennyiségű permeátum elvétele után leállítottam a szűrést és összegyűjtöttem a sűrítményt, végül ezekből

is mintákat vettem későbbi analitikai vizsgálatokhoz. A retentátumot hűtőszekrényben, fagyasztva tároltam további felhasználásig.

Fluxus képlete:

$$J = \frac{V}{A \cdot t}$$

Ahol J a fluxus (L/m<sup>2</sup>h), V a permeátum térfogata (L), A a membrán felülete (m<sup>2</sup>), t az idő (h)

A besűrítési arány (VRR – Volume Reduction Ratio) a betáplált oldat mennyiségének és adott időpontban a sűrítmény mennyiségének arányát adja meg:

$$VRR = \frac{V_b}{V_b - V_p}$$

Ahol VRR a besűrítési arány (-), V<sub>b</sub> a betáplált oldat mennyisége (mL), V<sub>p</sub> az adott pillanatig elvett permeátum mennyisége (mL).

A sűrítések előtt, után és mosás után is mértem vízfluxust, melyből a membrán állapotára, eltömődésére lehet következtetni. A mérést desztillált vízzel végeztem, 14 és 42 bar nyomás között, a permeátum 200 mL mennyiségéhez szükséges időt mérve, három párhuzamos méréssel.

A berendezés mosásának optimalizálásához vizsgáltam a vízfluxust 30 perces NaOH oldatos mosás után. Az eredmények alapján a sűrítések után alacsony nyomáson 45 perces, NaOH oldatos mosást alkalmaztam. Az oldat elkészítéséhez 8 g lemezes NaOH-ot oldottam fel 4 L desztillált vízben.

#### **4.3.3. Összes polifenol-tartalom mérése Folin-Ciocalteu reagenssel (TPC – Total Phenolic Content)**

A mintákban található összes fenoltartalom meghatározásához a Singleton és Rossi (1965) által leírt módszert használtam.

A módszertan lényege, hogy az általam mért cékla héj kivonatok várhatóan tartalmazzak antioxidánsokat, melyektől elektront vesz fel a Folin-Ciocalteu reagensben jelen lévő sárga színű Mo (IV) ionja, mely így kék színű Mo (V) ionná redukálódik. Az így megjelenő kék szín 760 nm-en elnyelést mutat. Ez a metodika alkalmas a fenolok mellett még a vízdoldható és elektronleadásra képes antioxidánsok meghatározására is. A módszer hátrányának az tekinthető, hogy lúgos pH-n zajlik a mérés (Hegedűs et al., 2012).

A kísérlethez az alábbi vegyszereket kellett elkészítenem:

- Metil-alkohol és desztillált víz 80:20 arányú elegye: 80 mL metil-alkohol + 20 mL desztillált víz.
- Folin-Ciocalteu oldat: Folin-Ciocalteu reagens 1:10 arányú hígítása: 25 mL Folin-Ciocalteu reagens + 250 mL desztillált víz. Sötét üvegben, hűtőben tároltam.
- Nátrium-karbonát oldat: 0,7 M koncentrációjú oldat: 7,42 g vízmentes nátrium karbonát + 100 mL desztillált víz.
- Galluszsav oldat kalibráláshoz: 3 mM koncentrációjú oldat: 10,0 mL metil-alkohol desztilláltvíz elegy (4:1 arányú) + 5,1036 mg szilárd galluszsav; 0,3 mM koncentrációjú oldat: 10x hígítás: 1 mL galluszsav oldat (3 mM) + 9 mL desztillált víz.

#### Kalibráció

A galluszsav oldat segítségével elkészítettem a 9 pontos kalibrációs sort 2 db vak mintával. Az oldatsor kémcsöveibe a 15. táblázat szerinti mennyiségeket pipettáztam:

15. táblázat: Kalibrációs oldatsor az összes polifenol-tartalom meghatározásához

<b>Kémcső sorszáma</b>	<b>Folin-Ciocalteu oldat (µl)</b>	<b>Metanol-DV (µl)</b>	<b>Galluszsav oldat (µl)</b>	<b>Nátrium-karbonát oldat (µl)</b>
1.	1250	250	0	1000
2.	1250	250	0	1000
3.	1250	225	25	1000
4.	1250	200	50	1000
5.	1250	175	75	1000
6.	1250	150	100	1000
7.	1250	125	125	1000
8.	1250	100	150	1000
9.	1250	50	200	1000

A galluszsav és a metanol-víz elegy összekeveredése után szigorúan 1 perc elteltével adtam hozzá a kémcsövekhez a nátrium-karbonát oldatot, ezzel állítva le a reakciót. Ezután 5 perces, 50 °C-os vízfürdőbe helyeztem a mintákat. A megfelelő idő leteltével a Hach kézi

spektrofotométert desztillált vízre nulláztam, majd segítségével 760 nm-en mértem a minták abszorbanciáját. A kalibrációs sorban jól megfigyelhető volt a galluszsav mennyiségének növekedésével arányosan a kék szín intenzitásának növekedése. A mért abszorbancia értékek is ezt mutatják.

#### Minták előkészítése

Kiengedés után mindhárom teljesítményhez tartozó betáplált, sűrítmény és szűrlet mintából 2-2 ml-t pipettáztam eppendorf csövekbe. A művelet 6000 rpm-en 20 percig zajlott Hermle Labortechnik Z 206 A kompakt centrifuga berendezésben. A mérés megkezdéséhez a minták felülészójából pipettáztam 100-100 µl-t az összemért reakcióelegyekhez. A centrifugacsövekben található mintákat a hűtőben, fagyasztva tároltam a következő vizsgálatig.

#### Reagens összeállítása

A minták összes polifenol tartalmának meghatározásához az alábbi vegyületeket mértem össze kémcsövekbe: 2500 µL Folin-Ciocalteu oldat, 400 µL metil-alkohol – desztillált víz elegy (4:1 arányú) és 100 µL minta, majd pontosan 1 perc letelte után 2000 µL nátrium-karbonát oldattal (0,7 M) leállítottam a reakciót. Ezután 5 percre 50 °C-os vízfürdőbe helyeztem őket. Ezt követően összeöntöttem a kalibrációs sor két vakmintáját és erre nulláztam a Hach kézi spektrofotométert. A minták abszorbanciáját 760 nm-en határoztam meg. Az összes mintából három párhuzamos mérést végeztem, ezekből átlagot számoltam, majd a kalibrációs egyenes segítségével megadtam az összes polifenol tartalmukat mg galluszsav egyenérték/mL-ben.

$$TPC = \frac{A}{m} * \frac{V_0}{V_m} * DF$$

Ahol TPC az összes polifenol tartalom (mg galluszsav egyenérték/ml), A az abszorbancia, m= 0,2523 a kalibrációs egyenes meredeksége, V<sub>0</sub> az összes reakciótérfogat (µL), V<sub>m</sub> a minta térfogata (µL) és DF a hígítás.

#### **4.3.4. Antioxidáns kapacitás mérése FRAP (Ferric Reducing Ability of Plasma) módszerrel**

A minták antioxidáns aktivitásának meghatározására Benzie és Strain (1996) módosított módszerét használtam.

A módszert alapvetően a plazma antioxidáns aktivitásának meghatározására dolgozták ki. A metodika lényege, hogy alacsony pH mellett a Fe (III) ionok Fe (II) ionokká redukálódnak az antioxidáns aktivitású vegyületek hatására. A 2,4,6-tripiridil-s-triazin (TPTZ) komplexképző



hatására Fe (II) ionok képződnek az elegyben. E folyamat során keletkező élénk kék színű termék 593 nm-en fotométerrel mérhető. Az olcsó és gyors módszer nem érzékeny a tiol típusú antioxidánsokra, valamint a karotinoidokra sem (Hegedűs et al., 2012).

A méréshez az alábbi vegyületeket készítettem el:

- Acetát-puffer: 3,10 g kristályvizes nátrium-acetát + 16,0 mL ecetsav + desztillált víz mérőlombikban 1000 mL-re kiegészítve.
- Triazin-oldat (TPTZ): 62,46 mg szilárd 2,4,6-tri-(2-piridil)-s-triazin + 20 ml desztillált víz + 67,2 µL sósav (37%-os oldat).
- Vas-klorid oldat: 108 mg kristályvizes vas (III)-klorid + 10 mL desztillált víz.
- Aszkorbinsav-oldat: 10 mM koncentrációjú oldat: 17,163 mg szilárd aszkorbinsav por + 10,0 mL desztillált víz;  
1 mM koncentrációjú oldat: 100 µL aszkorbinsav-oldat (10mM) + 900 µL desztillált víz.

A FRAP-reagenst bomlékonysága miatt a mérés előtt, frissen készítettem el 200 mL acetát-pufferből + 20 mL vas-klorid oldatból + 20 mL TPTZ-oldatból. Az elkészült reagenst sötét pohárban, alufóliával körbevéve tároltam.

Kalibráció:

A kalibrációs görbét ismert koncentrációjú aszkorbinsav-oldatsor mérésével készítettem. A kalibrációhoz szükséges oldatokat a 16. táblázat alapján mértem be:

16. táblázat: Kalibrációs oldatsor a FRAP módszerhez

Kémcső sorszáma	FRAP-reagens (µl)	Aszkorbinsav-oldat (µl)	Desztillált víz (µl)
1.	1500	0	50
2.	1500	0	50
3.	1500	10	40
4.	1500	20	30
5.	1500	30	20
6.	1500	40	10
7.	1500	50	0

Az aszkorbinsav-oldat hozzáadása után 5 perccel, a Hach kézi spektrofotométer desztillált vízre nullázását követően, mértem az abszorbanciákat 593 nm-en.

#### Minták előkészítése

A kiengedett, centrifugacsövekben tárolt mintákat behelyeztem a Hermle Labortechnik Z 206 A kompakt centrifuga berendezésbe és 6000 rpm-en 20 percig centrifugáltam őket. A mérés megkezdéséhez a minták felülúszójából 40-40 µL-t pipettáztam az összemért reakcióelegyekhez.

#### Reagens összeállítása

A minták antioxidáns aktivitásának meghatározásához az alábbi vegyületeket mértem össze kémcsövekbe: 3000 µL FRAP-reagens, 60 µL desztillált víz és 40 µL minta, majd pontosan 5 percet követően, a kalibrációs sor két vakmintájának összeöntésére nullázott Hach kézi spektrofotométerrel 593 nm-en határoztam meg a minták abszorbanciáját. Mindegyik mintából három párhuzamos mérést végeztem, ezekből átlagot számoltam, majd a kalibrációs görbe segítségével megadtam az antioxidáns tartalmukat mg aszkorbinsav egyenérték/mL-ben.

$$FRAP = \frac{A + c}{m} \cdot \frac{V\ddot{o}}{V_m} \cdot DF$$

Ahol FRAP az antioxidáns kapacitás (mg aszkorbinsav egyenérték/mL), A az abszorbancia,  $c=0,173$  a kalibrációs egyenes y-tengelymetszete,  $m=0,4114$  a kalibrációs egyenes meredeksége,  $V\ddot{o}$  az összes reakció-térfogat (µL),  $V_m$  a minta térfogata (µL) és DF a hígítás.

#### 4.3.5. Betacianin-, betaxantin tartalom mérése

A színanyag tartalom méréséhez Zin és munkatársai (2020) által használt módszert alkalmaztam. A vizsgálat során a mintákon húszszoros hígítást végeztem az alábbi szerint: 200 µl minta + 4000 µl desztillált víz. Így a minták detektált fényelnyelései a méréshez használt Hach kézi spektrofotométer mérési határain belülre estek. A berendezés desztillált vízre történő kalibrálását követően a betaxantin koncentrációhoz 480 nm-en, a betacianin tartalom meghatározásához 535 nm-en mértem a minták abszorbanciáját. Mindkét esetben mintánként három párhuzamos mérést végeztem. A betalain vegyületek koncentrációjának kiszámításához az alábbi képletet használtam:

$$\text{µg} = \frac{\text{µg µL}^{-1} \cdot \text{µL} \cdot 1\ 000}{\text{µL}}$$

Ahol C a betaxantin vagy a betacianin koncentrációja (mg/L), A a minták abszorbanciája, M a molekulásúly (Betaxantin molekulásúlya: 308 g/mol, Betacianin molekulásúlya: 550 g/mol), DF a hígítási faktor (20 x),  $\epsilon$  az extinkciós koefficiens (Betaxantin: 48000 1/mol\*cm, Betacianin: 60000 1/mol\*cm), és L a kuvetta szélessége (1,5 cm).

#### 4.3.6. Enzimes hidrolízis

A tejszérum enzimes hidrolíziséhez papain enzimet használtam. A tejből kétszer 650 ml-t töltöttem ki kettő főzőpohárba, majd alumínium fóliával lefedtem őket. Megkezdtem a minták inkubálását 50°C-os vízfürdőben 1 óra hosszan keresztül, hogy elérje az enzim aktiválási hőmérsékletét. Az inkubációs folyamat közben kimértem a szükséges mennyiségű, 5,2 mg enzimet, így a koncentráció  $P=0,008$  g/L-re lett beállítva.

Az inkubálási idő lejártával hozzáadtam az egyik főzőpohár tejhez a kimért enzimet, ezzel elkezdődött a hidrolízis. A hidrolízis 50 °C-os vízfürdőben, 10 percen keresztül zajlott. Ezt követően az enzim inaktiválása érdekében 70 °C-os vízfürdőbe helyeztem a főzőpoharakat 30 percre. A másik pohár mintából az enzimmel kezelt mintákat készítettem el.

#### 4.3.7. Fermentáció

25 ml tejben feloldottam 0,15 g fagyaszta szárított termofil joghurtkultúrát, így megkaptam a 6 g/L koncentrációjú kultúrát. A mindeközben körülbelül 45 °C-ra hűlt mintákat 80 ml-enként 8-8 db műanyag pohárba osztottam szét. Így 16 pohár mintát kaptam.

Mind az enzimatikusan kezelt, mind a kezeltlen tejből készítettem laktóz tartalmú és laktózmentes mintákat is. Ez utóbbiak előállításához 155  $\mu$ l  $\beta$ -galaktozidáz oldatot adtam 4-4 mintához. A poharakat lefedve, 6 óra hosszára behelyeztem a 45 °C-os hőmérsékletű fermentorba. A  $\beta$ -galaktozidáz enzim a laktózt hidrolízis során glükózra és galaktózra bontja le, így laktózmentes tejtermékek állíthatók elő (Sevella, 2012).

A négy különböző összetételű mintát az 17. táblázat szerint neveztem el kódokkal.

17. táblázat: Mintakódok és jelentésük (P: enzimes hidrolízisen átesett, N: enzimatikusan nem kezelt L: laktóztartalmú, M: laktózmentes)

Mintakód	Laktóztartalom	Enzimatikusan kezelt

PL	+	+
PM	-	+
NL	+	-
NM	-	-

A fermentációt követően összekevertem a 800W-on extrahált és besűrített céklalevet a joghurt mintákkal, így kaptam meg a növelt antioxidáns tartalmú kevert joghurtokat. Mind a négyféle mintából 4-4 eltérő koncentrációjú kevert joghurtot készítettem. Bennük a céklalé és a joghurt arányát változtattam, végső térfogatuk azonban állandó 80 ml volt. Az így kapott 16 db minta kódneveit az előző táblázatban bemutatott kódolás folytatásával, az adott minta céklalé tartalmának számmal és C betűvel történő feltüntetésével kaptam. Például a PL 10 C elnevezésű minta kapott enzimes kezelést, tartalmaz laktózt és 10 ml céklalevet kevertem a 80 ml joghurthoz.

A továbbiakban elvégzett analitikai meghatározásokhoz boltban vásárolt epres és meggyes ízesítésű joghurtot használtam kontrollminta gyanánt.

#### **4.3.8. Színmérés**

A műszeres színmérés során szimulálhatjuk, hogyan lát az emberi szem egyes tárgyakat. Segítségével bármely anyag színét számszerű adatokká konvertálhatjuk. A módszer azon alapszik, hogy a három alapszín, a vörös, a zöld és a kék keverékéből bármely szín előállítható. A fehér az alapszínek egyenlő erősségű sugarainak, míg a többi szín a három alapszín sugarainak különböző arányú keveréke. A háromdimenziós színrendszer három tengelye: L\*: világosság (0 – 100), a\* vörös-zöld (+50 vörös, -50 zöld) színezet és b\* sárga-kék (+50 sárga, -50 kék).

A joghurtok szín-meghatározásához CHROMA METER CR-400 színmérő készüléket használtam. Először a műszer kalibrálását végeztem el a mérések során is felhasznált fólián keresztül, kalibrációs csempe segítségével. Minden mintából 5 párhuzamos mérést készítettem. A műszer az L\*, a\*, b\* értékeket határozta meg. Ezen adatokból határozható meg a minták közötti teljes színkülönbség ( $\Delta E^*$ ), amely a minta színparamétereinek egy adott színmintától való eltérését jellemzi a két színpont közötti térbeli távolsággal.

A  $\Delta E^*$  színinger-különbség értékeit a következő képlettel számoltam:

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Ahol  $L_0^*$ ,  $a_0^*$  és  $b_0^*$  a kontroll mintára,  $a^*$ ,  $b^*$  és  $L^*$  pedig a kezelt mintákra vonatkozó értékek.

Minél nagyobb a  $\Delta E^*$  értéke, annál jobban érzékelhető az emberi szem számára a színkülönbség (18. táblázat).

18. Táblázat: Az érzékelhető színkülönbségek számszerűsített értékei (Tóth, 2019)

$\Delta E^*$	Érzékelhető színkülönbség
<0,20	nem észrevehető
0,20 – 0,50	igen csekély
0,50 – 1,50	csekély
1,50 – 3,00	észrevehető
3,00 – 6,00	feltűnő
6,00 – 12,00	erősen észlelhető
> 12,00	igen nagy különbség

#### 4.3.9. Antioxidáns kapacitás meghatározása

A kevert joghurtminták antioxidáns kapacitásának meghatározásához a korábban már ismertetett FRAP (Ferric Reducing Ability of Plasma) módszert alkalmaztam, majd a minták abszorbanciáját fotometriásan mértem 593 nm-en. Az eredményeket a 7. táblázat alapján elkészített aszkorbinsavas kalibrációs sor segítségével értékeltem, a számításokat a fent már bemutatott képlettel végeztem.

Az antioxidáns aktivitás meghatározása előtt minden joghurtmintából 20-20 g került kimérésre nagyméretű centrifuga csövekbe, majd 20 percig centrifugáltam őket 6000 1/perc-es fordulatszámom. A vizsgálathoz a felülúszókból eppendorf csövekbe mértem ki 2-2 ml-t. A vizsgálathoz szükséges reagenst a fent leírtak alapján készítettem el. A minták felülúszójából 100  $\mu$ l-eket pipettáztam kémcsövekbe, majd mindegyikhez hozzáadtam 3 ml reagenst, így a hígítási faktorra (DF) 1-et kaptam. A minták abszorbanciáját az 5 perces reakcióidő letelte után spektrofotométerrel mértem 593 nm-en. A műszert a kalibráló sor összeöntött két vakmintájára kalibráltam.

#### 4.3.10. SDS-poliakrilamid gélelektroforézis

Az enzimesen hidrolizált joghurt mintákban (PL, PM), illetve a normál joghurt mintákban (NL, NM) található fehérjék molekula tömegét nátrium-dodecil-szulfát-poliakrilamid-gélelektroforézis (SDA-PAGE) segítségével határoztam meg. A méréshez vertikális gélelektroforézis rendszert (Bio-Rad Mini Protein 3 Cell) és különféle protein markereket

használtam, melyeket a gél kontroll sávjára vittem fel. A minták hígításához és futtatásához szükséges Laemmli puffert a következő anyagok felhasználásával készítettem: trisz-hidroxi-metil-amino-metán (tris), nátrium-dodecil-szulfát (SDS), glicin, 2-merkaptoetanol. Színezőanyag gyanánt 0,2%-os Coomassie kék festéket használtam.

A gélt belehelyeztem a futtató pufferrel feltöltött kádba, majd 10 µl hígított mintát pipettáztam a cellákba. Az elektroforézis végeztével a szeparált fehérjéket 20%-os triklór-ecetsav (TCA) oldat segítségével fixáltam. A felesleges TCA eltávolítása PAGE-mosó oldattal történt.

Ezt követően a gélt 0,2 %-os Coomassie kék festékoldatba helyeztem, majd 10 %-os ecetsav-oldattal távolítottam el a háttérben maradt festéket. A gélkép elkészítéséhez Gel Doc XR+ System (Bio-Rad, Hercules, USA) berendezést használtam. A megjelenő sávok molekulatömegét a Quantity One szoftverprogram segítségével határoztam meg (Bio-Rad, Hercules, Kalifornia, USA).

## 5. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

### 5.1. Extrakció

Az alkalmazott módszerrel három különböző teljesítményen végeztem el az értékes komponensek kinyerését. Ezek értékeit a mikrohullámú sütő teljesítmény-tartománya alapján határoztam meg. A tiszta oldószerrel végzett előkísérletek alapján határoztam meg a hűtési- és pihentetési időket. A kezelési idő, az extrakciónként bemért cékla héj és desztillált víz mennyisége állandó volt, az elért hőmérsékletek azonban a teljesítménnyel változtak. Ezek átlagát mutatom be a 8. táblázatban.

19. táblázat: Átlaghőmérséklet értékek

Teljesítmény (W)	Hőmérséklet átlag (°C)
100	33
450	45,8
800	49,1

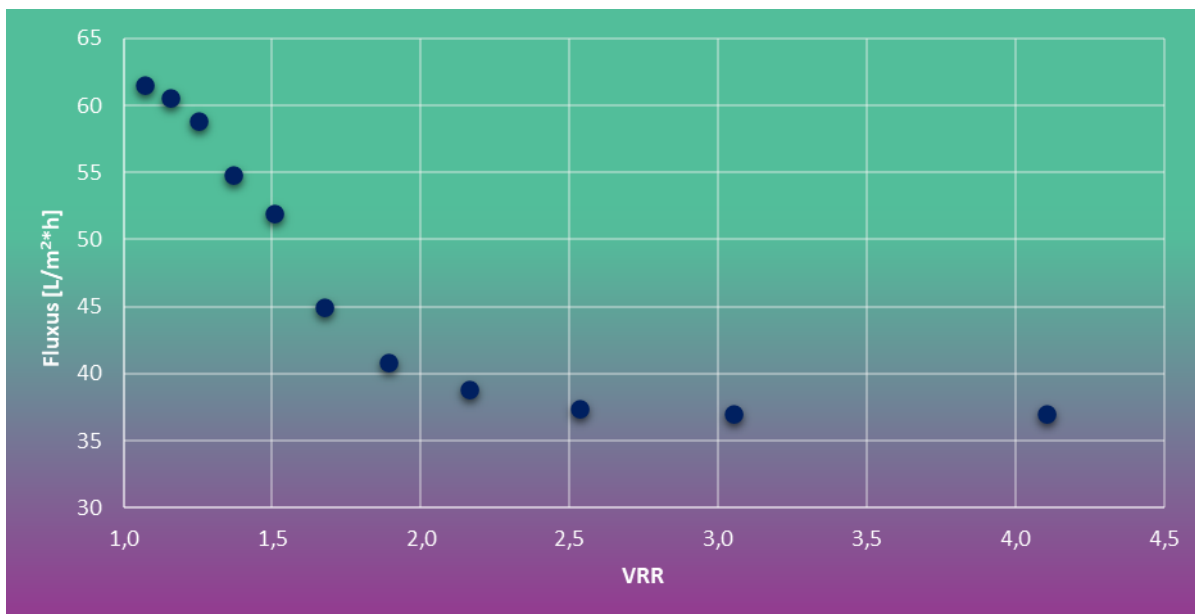
Megfigyelhető, hogy a teljesítmény növelésével az elért átlaghőmérséklet is növekedett.

Az extrahálási folyamatok hatékonyságának megállapításához további vizsgálatokra volt szükségem.

### 5.2. Membránszűrés

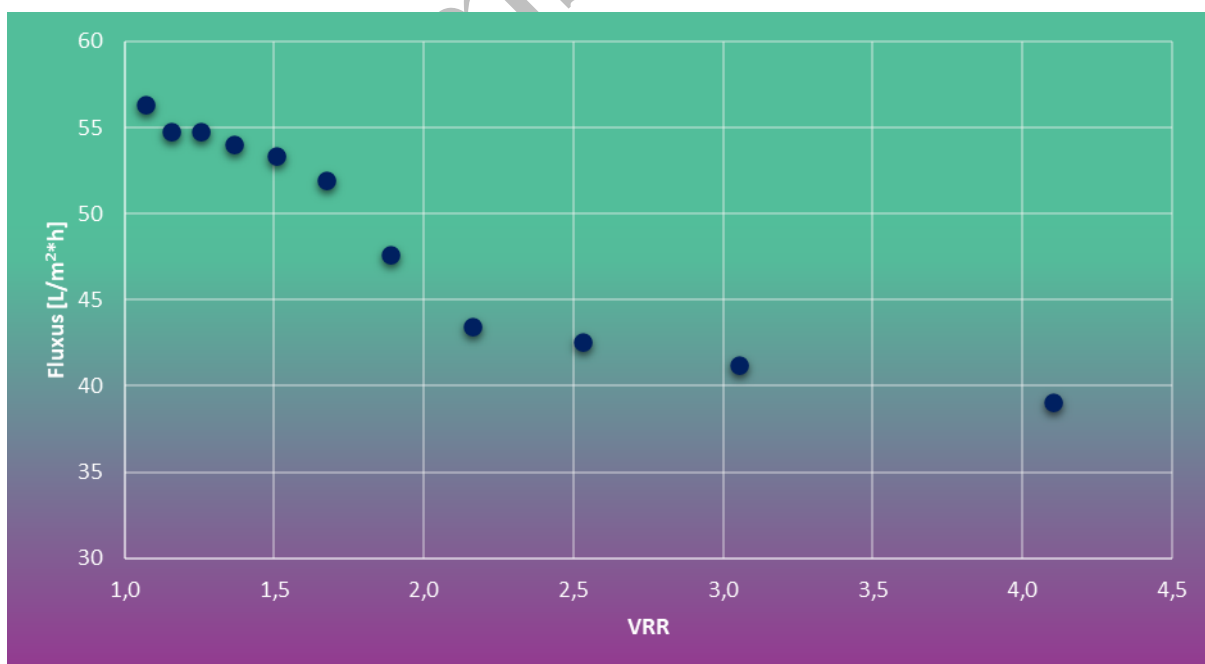
Szűrésenként a betáplált oldat mennyisége 2975 ml, a szűrlet mennyisége 2250 ml, a sűrítményé 725 ml volt. Az X20-as membránok felülete 0,18 m<sup>2</sup>, a hőmérséklet 30 °C, az alkalmazott nyomáspár 38-42 bar.

Vizsgáltam a fluxus változását a besűrítési arányok függvényében és grafikusán ábrázoltam mindhárom mintánál (2. ábra, 3. ábra, 4. ábra):



2. ábra: 100 W-on kezelt minta fluxusváltozása a VRR függvényében

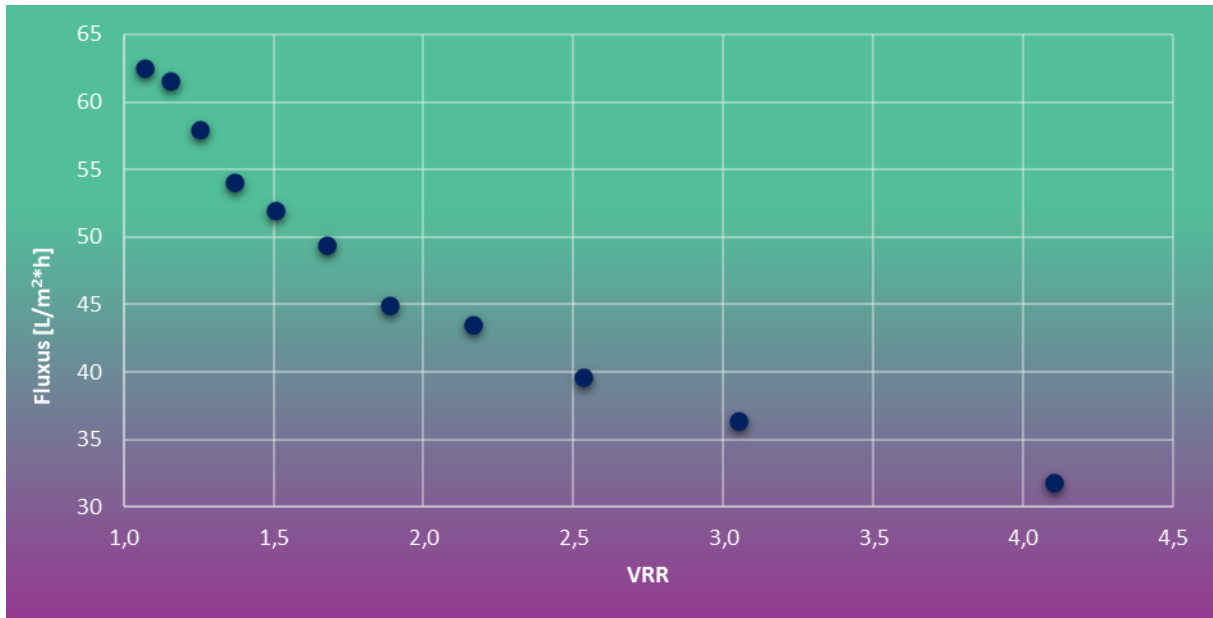
A 2. ábrán jól megfigyelhető, hogy a fluxus folyamatosan csökkenő tendenciát mutat. A folyamat elején a szűrlet fluxusa  $61,54 \text{ L/m}^2\text{h}$ , mely a folyamat végére  $37,04 \text{ L/m}^2\text{h}$  értékre csökkent. Az is látható, hogy a besűrítés előrehaladtával a fluxus csökkenése egyre kisebb mértékű volt, az utolsó két mérési pontban állandósult a fluxus értéke. A csökkenés a sűrítményben kialakuló egyre magasabb koncentráció következtében alakult ki, melynek hatására a membrán pórusai eltömődnek.



3. ábra: 450 W-on kezelt minta fluxusváltozása a VRR függvényében



Itt is látható (3. ábra) a fluxus folyamatos csökkenő tendenciája. A kezdeti fluxus értéke 56,34 L/m<sup>2</sup>h, az utolsó fluxusérték pedig 39,06 L/m<sup>2</sup>h értékre csökkent, továbbá lefutása hasonló a 100 W-os teljesítményen mért méréshez. A fluxus egyre kisebb mértékű csökkenése is megfigyelhető.



4. ábra: 800 W-on kezelt minta fluxusváltozása a VRR függvényében

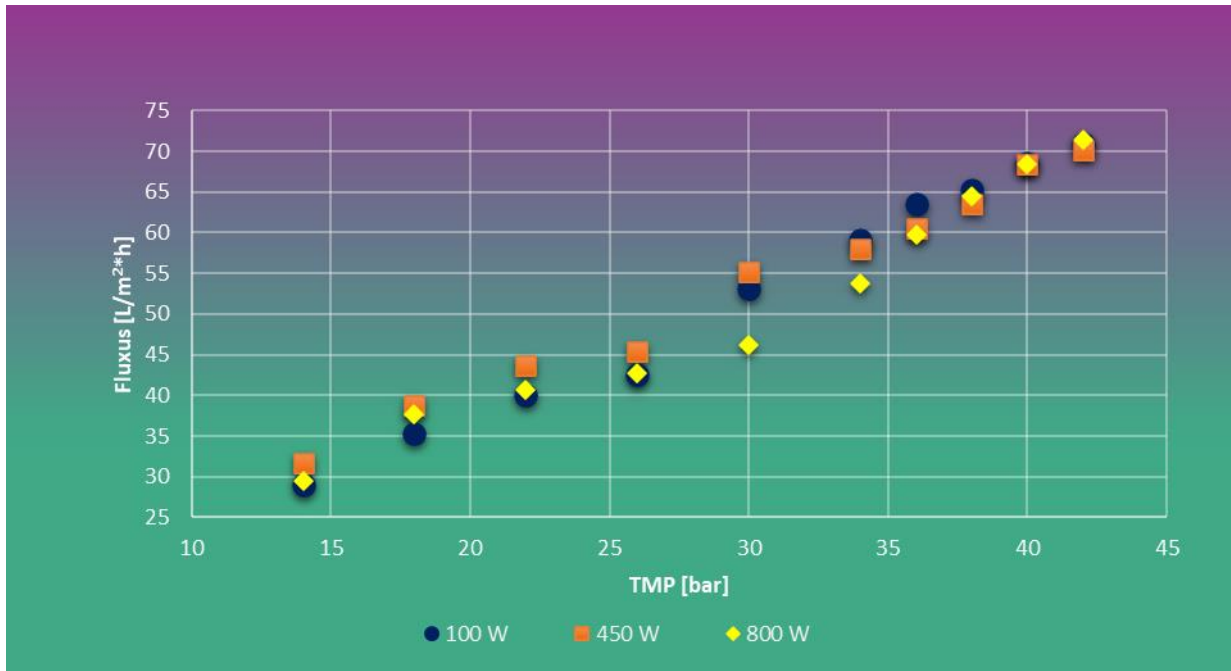
Ezen a 4. ábrán is megfigyelhető a fluxus folyamatos csökkenő tendenciája. A besűrítés kezdeti fluxusa 62,50 L/m<sup>2</sup>h, a folyamat végén a fluxusérték már 31,85 L/m<sup>2</sup>h értékre csökkent. A fluxus egyre kisebb mértékű csökkenése itt is megfigyelhető.

A besűrítési arány értékei mindhárom esetben exponenciális jellegű növekedést mutatnak, itt a kezdeti érték 1,07 az utolsó pedig 4,1.

Mindhárom mérésnél csökken a fluxus, de a legjobban a 800 W-os minta sűrítése közben csökkent le. Ugyanakkor a kezdeti érték is itt volt a legmagasabb, bár ezek az értékek mindhárom mintánál meglehetősen közel vannak egymáshoz.

A fluxus értékek csökkenése a membrán pórusainak eltömődésével magyarázható, amely a sűrítmény egyre magasabb koncentrációja miatt alakul ki.

A besűrítések előtt, után és mosás után mértem a tiszta víz fluxusát (5., 6. ábra). A következő ábrákon a sűrítés előtti és mosás utáni tisztavíz fluxusok láthatók besűrítés szerint.



5. ábra: Sűrítés előtti tisztavíz fluxusok



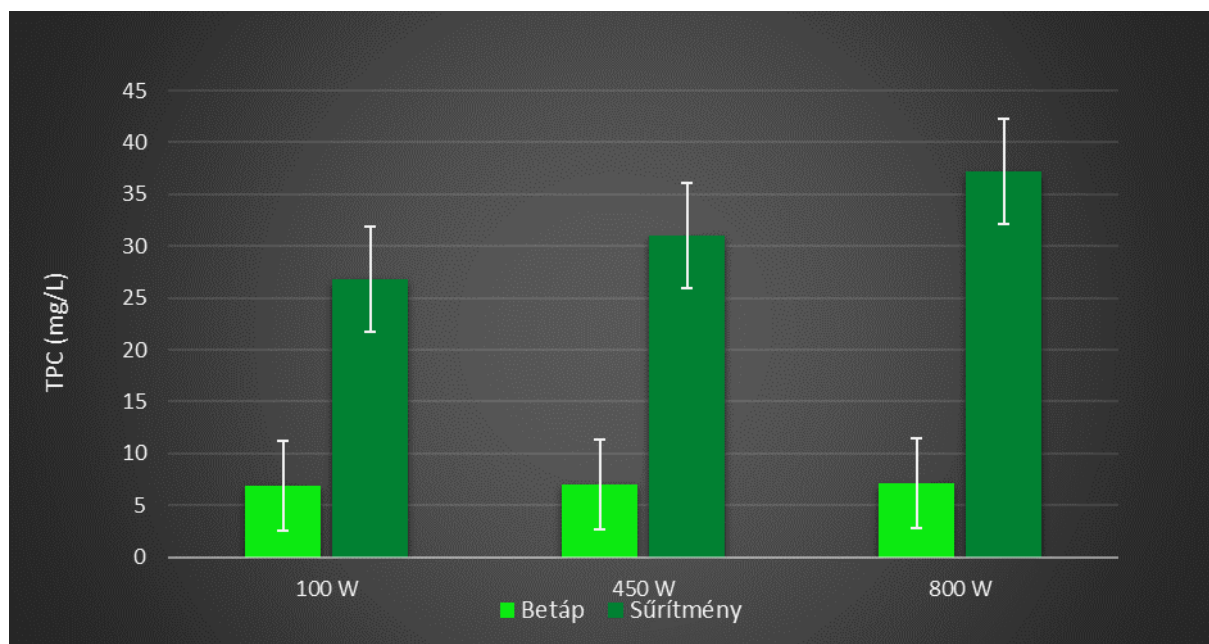
6. ábra: NaOH mosás utáni tisztavíz fluxusok

A besűrítést során az alkalmazott X20-as membrán pórusai jelentős mértékben eltömődtek, csökkent fluxus értékek alapján. A besűrítést követően a membránok regenerálása elengedhetetlen. A besűrítést megelőzően a fluxus értéke megközelítőleg 70 L/m<sup>2</sup>h volt, melyet

a NaOH-os mosást követően sikerült erre az értékre regenerálni, ezzel a mérésre előkészíteni a membránt. A citromsavas mosás nem járult hozzá jelentősebb mértékben a membrán regenerálásához, így azt a későbbi mosási ciklusokban nem használtam.

### 5.3. Összes polifenol-tartalom mérése Folin-Ciocalteu reagenssel (TPC)

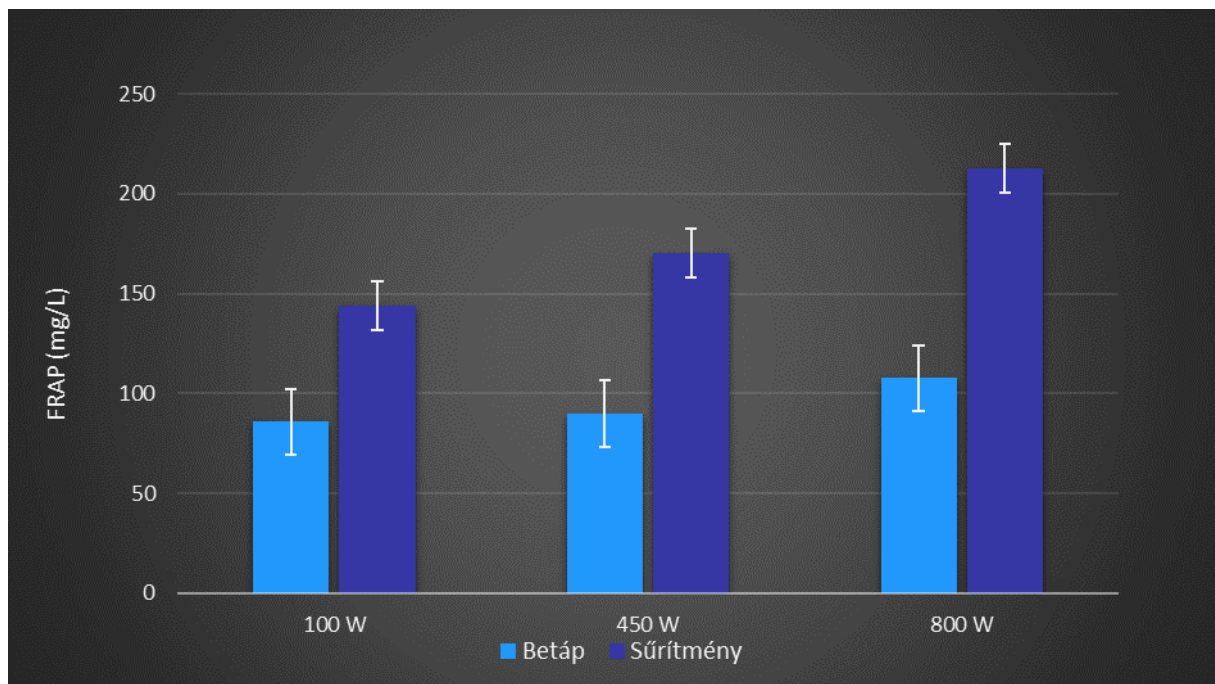
Az összes polifenol-tartalom vizsgálatának eredményeit grafikusan ábrázoltam a 7. ábrán.



7. ábra: Minták összes polifenol tartalma

Az oszlopdiagramon (7. ábra) jól megfigyelhető, hogy a betápok polifenol tartalma közel azonos, a sűrítményeké azonban a teljesítmény növelésével arányosan növekszik. A sűrítmények közül a legmagasabb az összes polifenol tartalma a 800 W-on kezelt mintának volt, 37,19 mg galluszsav egyenérték/L, továbbá a betáplált oldat értékeihez képest a legnagyobb növekedést is a 800 W-os sűrítmény esetében láthatjuk. Az átlag szórás értéke a betáplált minták és a sűrítmények esetében közel azonos.

### 5.4. Antioxidáns kapacitás mérése FRAP módszerrel



8. ábra: Minták antioxidáns kapacitása

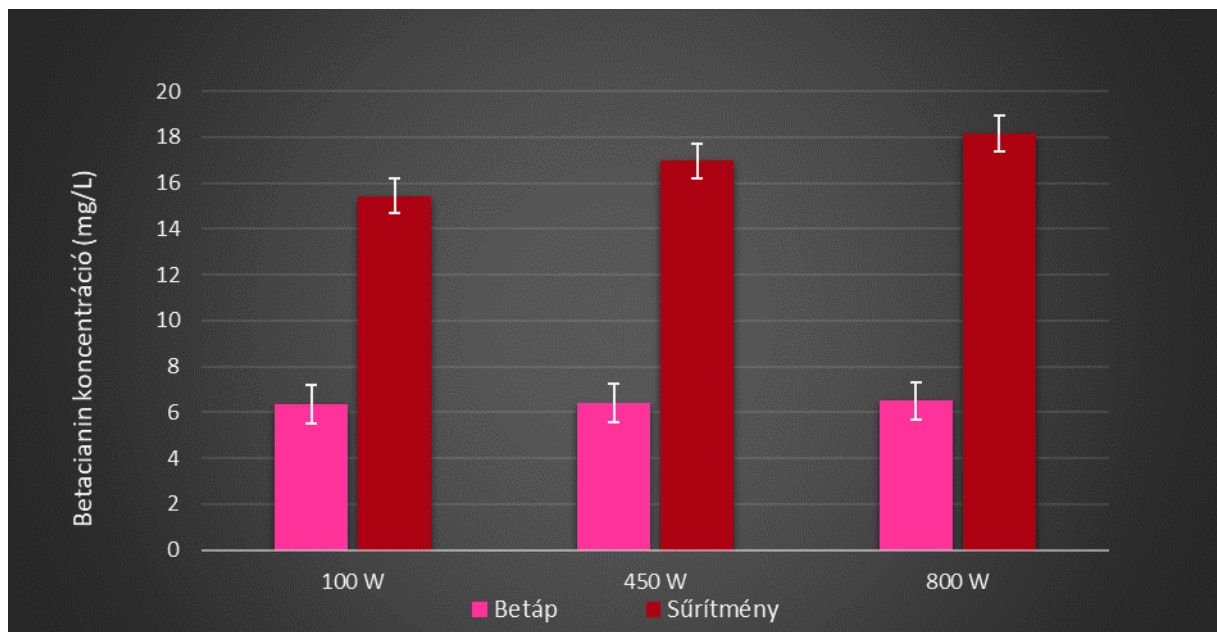
A mért és ábrázolt (8. ábra) értékek alapján megfigyelhető, hogy a minták antioxidáns tartalma mind a betáplált oldatok, mind a sűrítmények szempontjából nőtt. A legmagasabb érték a 800 W-os mintáknál figyelhető meg, a betáplált mintáé 107,7 mg aszkorbinsav egyenérték/L, a sűrítményé 212,7 mg aszkorbinsav egyenérték/L. 800 W-on a legnagyobb a növekedés a betáp és a sűrítmény értékei között is. Az átlag szórás a betáplált mintáknál nagyobb, a sűrítményeknél alacsonyabb értéket mutat.

## 5.5. Betacianin-, betaxantin tartalom mérése

A színanyagtartalom mérése során a betacianin és a betaxantin mennyiségét vizsgáltam a különböző teljesítményen elkészített extraktumokban és a sűrítményekben.

### 5.5.1. Betacianin tartalom:

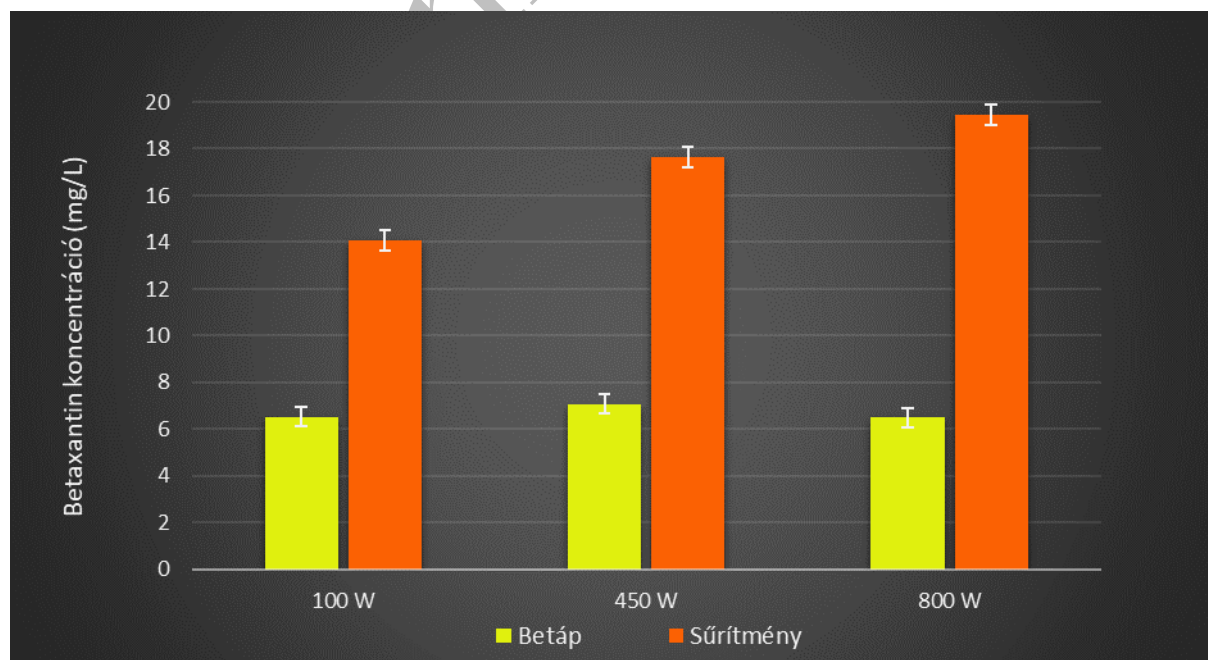
A minták átlag betacianin tartalmát (mg/L) grafikusán ábrázoltam, melyet a 9. ábrán mutatok be.



9. ábra: Minták betacyanin tartalma

A diagramon látható, hogy a membránszűrés előtti minták betacyanin tartalma közel azonos, a sűrítményeknél azonban a teljesítmény növekedésével nőtt a mért színanyag tartalom is. A legmagasabb betacyanin tartalma a 800 W-on kezelt sűrítménynek volt, 18,19 mg/L. Ugyancsak ennél a mintánál figyelhető meg a legnagyobb különbség a betáp és a sűrítmény betacyanin koncentrációjában. Az átlag szórás a betáplált értékek esetében alig láthatóan nagyobb.

#### 5.5.2. Betaxantin tartalom:

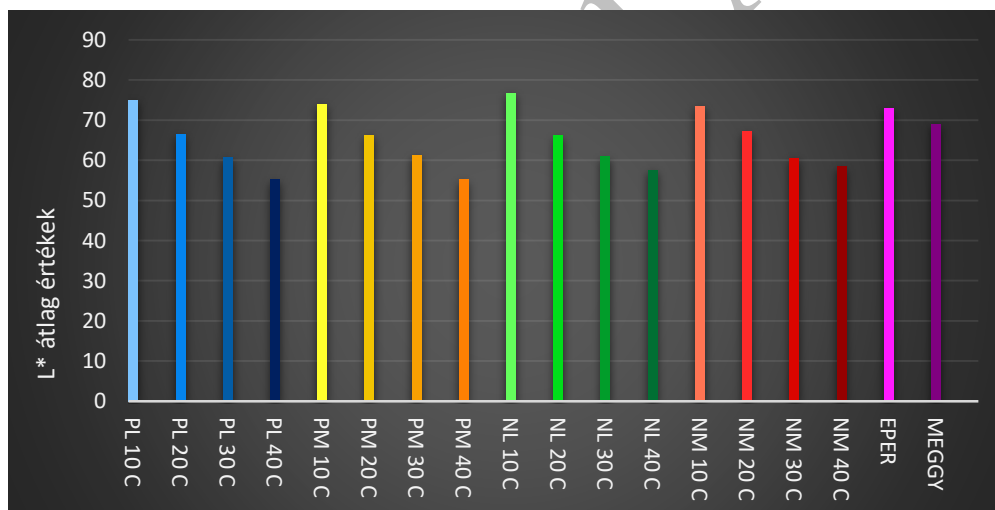


10. ábra: Minták betaxantin tartalma

A 10. ábrán is jól látható, hogy a membránszűrés előtti minták betaxantin tartalma közel azonos, a sűrítményeknél itt is nőtt a mért színanyag tartalom a teljesítménnyel arányosan. A legmagasabb betaxantin tartalom a 800 W-on kezelt, besűrített mintának volt, 19,45 mg/L. Szintén ennél a mintánál figyelhető meg a legnagyobb különbség a betáp és a sűrítmény betacianin koncentrációjában. Az átlag szórás a betáplált értékeknél és a sűrítményeknél közel azonos. A mérési eredményekből megfigyelhető, hogy a mintáim vörös pigment (betacianin) és sárga pigment (betaxantin) tartalma közel azonos mennyiségben van jelen a vizsgált mintákban. Minél magasabb a hőmérséklet annál nagyobb csökkenés figyelhető meg, mivel a pigmentek hőre érzékenyek. Magas hőmérsékleten elvesztik stabilitásukat. A mikrohullámú kezelés során ezért különösen figyeltem arra, hogy a hőmérséklet ne emelkedjen 60 °C fölé (Herbach et al., 2006).

## 5.6. Színmérés

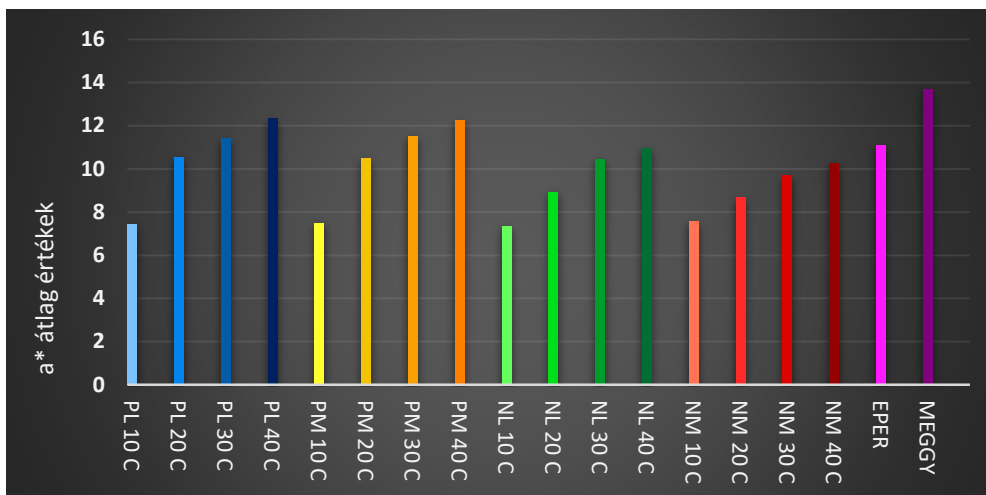
A 11. ábrán a joghurtminták átlag L\* értékei láthatók.



11. ábra: Joghurtminták átlag L\* értékei

A mért L\* értékek jól tükrözték, hogy a hozzáadott céklalé mennyiségének növekedésével csökkent a minták világossága, vagyis színintenzitásuk nőtt. Valamint az is megállapítható, hogy az azonos mennyiségű extraktumot tartalmazó joghurtoknak közel azonos az átlagos L\* értéke, tehát a céklalé hasonló mértékben színezte be a különböző joghurtokat. A két kontroll minta közül jól láthatóan az epres színe volt világosabb, mely megközelíti a 10 ml céklalevet tartalmazó minták értékeit.

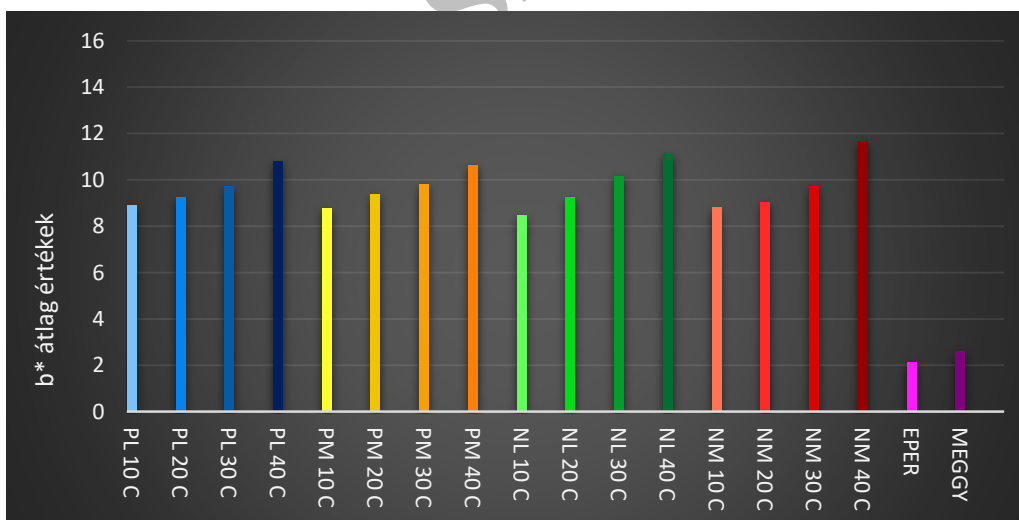
A minták a\* és b\* értékei mind pozitívak lettek, tehát a mintákban a vörös és a sárga szín dominált az extraktum betalain tartalmának köszönhetően.



12. ábra: Joghurtminták átlag a\* értékei

Az 12. ábrán a joghurtminták átlag a\* értékei láthatók, melyen megfigyelhető, hogy a hozzáadott céklalé mennyiségének növekedésével a minták vörös színtartalma is növekedett. Itt már eltérések láthatók a különböző minták eredményei között. A papain enzimmel kezelt minták (kék és sárga oszlopok) magasabb vörös árnyalatot mutatnak, mint az enzimmel kezeletlen minták (zöld és piros oszlopok). A legkiemelkedőbb vörös színtartalma azonban a meggyes kontrollmintának volt, 13,708-as értékkel.

Az átlagos b\* értékek az 13. diagramon láthatók.

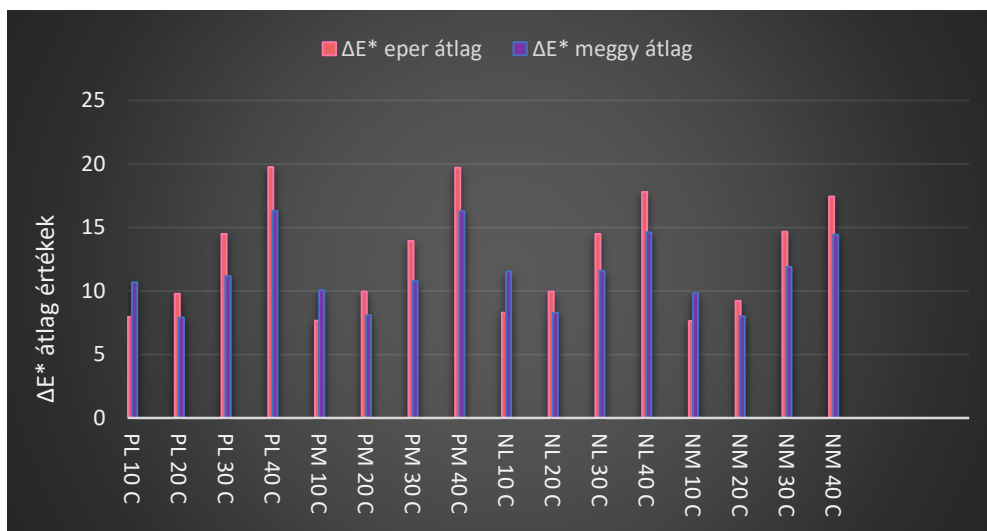


13. ábra: Joghurtminták átlag b\* értékei

A diagramon jól látható, hogy a joghurtminták sárga színtartalma kisebb, mint a vörös. Az eredményekből ismét az állapítható meg, hogy az azonos mennyiségű céklalevet tartalmazó mintáknak hasonló az átlagos b\* értéke, tehát az extraktum betaxantin tartalma hasonló

mértékben színezte be a különböző joghurtokat. A legmagasabb  $b^*$  értéke az enzimmel kezeletlen, laktózmentes, 40 ml céklalevet tartalmazó mintának lett (NM 40 C), 11,688-as értékkel. A kontrollminták sárga színtartalma is pozitív, ám jóval alacsonyabbak az általam készített joghurtok eredményeinél.

A fent már ismertetett képlettel kiszámoltam a minták teljes színekülönbségét ( $\Delta E^*$ ) mindkét kontrollmintához viszonyítva, majd átlagoltam őket. Ezen számítások eredményeit ábrázolja az 14. diagram.

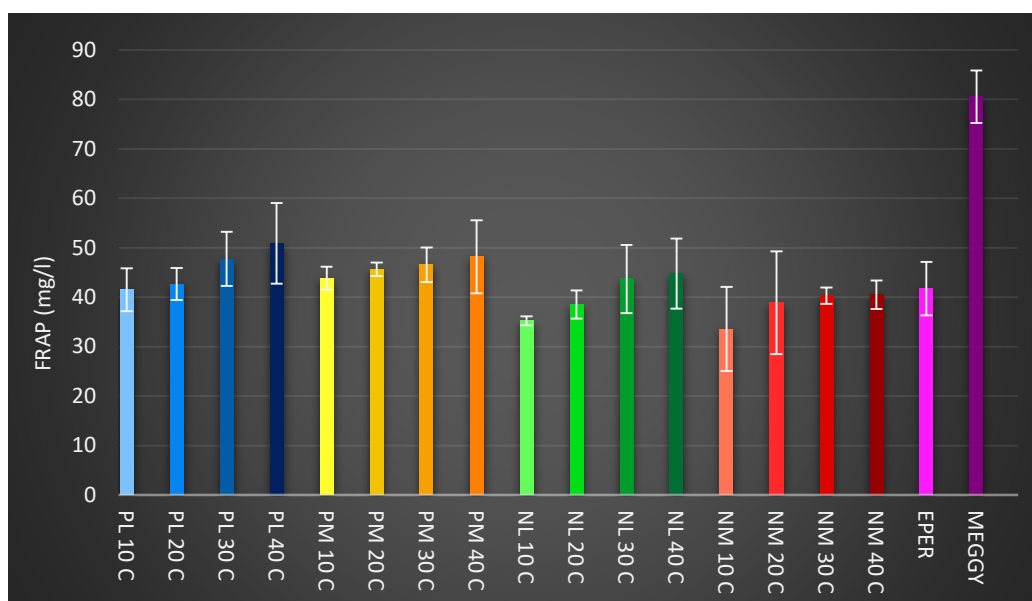


14. ábra: Minták átlagos  $\Delta E^*$  értékei mindkét kontrollmintához viszonyítva

A  $\Delta E^*$  átlag értékei minden esetben 5-nél nagyobbak, tehát a minták színei között feltűnő a különbség. Megfigyelhető, hogy az enzimmel kezelt minták  $\Delta E^*$  értékei a legmagasabbak mind az eper kontrollhoz, mind a meggyeshez viszonyítva. Továbbá az is jól látható, hogy a 10 ml céklalevet tartalmazó mintákon kívül mindegyik joghurt színe a meggyes kontrolléhoz áll közelebb.



## 5.7. Kevert joghurtminták antioxidáns tartalma

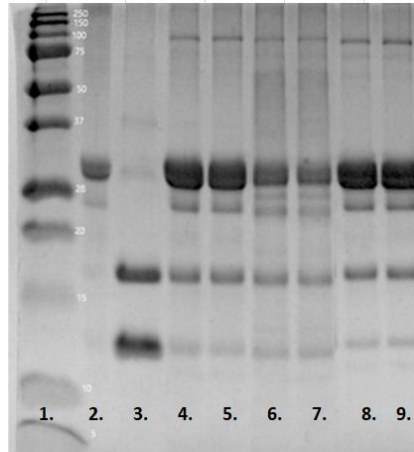


15. ábra: Joghurtminták átlagos antioxidáns kapacitása

A 15. diagramon a kevert joghurtminták, illetve az eper és meggyes a kontrollok antioxidáns tartalma található. Az ábra alapján megállapítható, hogy a hozzáadott céklahéj extraktumok mennyiségének növelésével a minták az antioxidáns tartalma is növekedett. A legmagasabb antioxidáns aktivitása a papainnal kezelt, laktózt és 40 ml céklalevet tartalmazó mintának volt, 50,883 mg/l. Jól látható, hogy az enzimmel kezelt minták (PL, PM) értékei minden esetben magasabbak a megegyező mennyiségű céklalevet tartalmazó, de enzimmel kezeletlen minták eredményeinél. Ebből következik, hogy az enzimkezelés pozitív hatással volt a minták antioxidáns tartalmára. Általánosan nézve a laktóztartalmú minták magasabb eredményeket értek el, mint a laktózmentesek. Továbbá megállapítható, hogy a legkisebb antioxidáns tartalommal az NM 10 C kódú minta rendelkezett, 33,566 mg/l-es értékkel. A kontrollminták közül a meggyes joghurt antioxidáns tartalma kiugróan magas, 80,564 mg/l. Ez az eredmény jóval meghaladja bármely mintánál mért értéket. Az eper kontroll eredménye azonban jóval alacsonyabb, 41,725 mg/l, melynél több minta is nagyobb antioxidáns tartalmat mutat: a PL és PM kódú minták mindegyike, és az NL csoport 30, illetve 40 ml céklalevet tartalmazó mintái.

## 5.8. Fehérje-eloszlásban bekövetkező változások nyomonkövetése

A 16. ábrán a nátrium-dodecil-szulfát-poliakrilamid-gélelektroforézis (SDS-PAGE) gélképe látható.



(1. standard (MW); 2. kazein (20-30 kDa); 3.  $\alpha$ -laktalbumin+ $\beta$ -laktoglobulin;  
4. NL; 5. NM; 6. PL; 7. PM; 8. eper; 9. meggy)

### 16. ábra: Nátrium-dodecil-szulfát-poliakrilamid-gélelektroforézis (SDS-PAGE) gélképe

Az allergiás reakciót kiváltó tejfehérjék molekula mérete 10-70 kDa között található, a 10 kDa-nál kisebbek allergenitása elhanyagolható (Sampson, 2004). Az ábra jól mutatja, hogy az enzimmel kezeletlen joghurtok (4., 5.), és a kontroll minták (8., 9.) esetében is az összes fehérje molekulatömege körülbelül 25-35 kDa közé esett. Valamint az is látható, hogy a laktóztartalom nem befolyásolta az enzimes hidrolízist. Az enzimmel kezelt mintáknál (6., 7.) a papain hatására a fehérjemintázat elhalványodott és új csíkok jelentek meg, melyek a fehérjék hatékony lebomlására utalnak. Megállapítható tehát, hogy enzimes kezelés során a minták immunogén hatása csökken ugyan, de nem szűnik meg teljesen. Magasabb enzimkoncentrációval valószínűleg hatékonyabban csökkenthető a fehérjék molekulatömege.

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

Funkcionális élelmiszernek nevezünk minden olyan élelmiszert, melyek olyan különböző összetevőket tartalmaznak, amik az egészség megőrzését elősegítő, vagy a betegségek kockázatát csökkentő hatást fejtenek ki a testi funkciókra.

Vizsgálataim célja az élelmiszeripari gyártástechnológiában keletkező melléktermékek újra felhasználásával olyan termék létrehozása volt, mely képes különböző tejtermékek funkcionális tulajdonságainak és tápértékének javítására. A zöldségfeldolgozás során nagy mennyiségben keletkező egyik ilyen melléktermék a zöldségek héja. A céklahéj jelentős mennyiségben tartalmaz antioxidánsokat, fenolos vegyületeket és kinyerésre alkalmas színanyagokat. Ezek a vegyületek másodlagos alapanyagként felhasználhatók az élelmiszeriparban. Fontos volt továbbá az a szempont is, hogy az általam elérhető leg környezetkímélőbb technológiákat alkalmazzam.

Először a céklák héjából készítettem vizes kivonatokat, mikrohullámmal segített extrakció révén, három teljesítményen (100 W, 450 W, 800 W).

Második lépésként DDS membránszűrő berendezéssel és az abba épített fordított ozmózis membránnal (X20) besűrítettem az extraktumokat.

Végül mértem a minták összes polifenol-tartalmát Folin-Ciocalteu reagenssel, az antioxidáns kapacitásukat FRAP (Ferric Reducing Ability of Plasma) módszerrel és a minták színanyag tartalmát a Zin és munkatársai (2020) által leírt módszer alapján.

Munkám során megállapítottam, hogy a 800 W-on végzett extrakció rendelkezett a legmagasabb antioxidáns kapacitással, fenolvegyület- és színanyag tartalommal. Ebből arra következtettem, hogy ezen beállítások mellett volt a leghatékonyabb az extrakció.

A vizsgálatok eredményeiből az is látható, hogy a fordított ozmózzissal végzett besűrítési folyamat hatékonyan működött, a sűrített minták TPC, FRAP és színanyag-mennyiség értékei minden esetben magasabbak voltak a sima extraktumokénál. A membrán regenerálása minden besűrítési folyamatot követően sikeres volt.

A különböző joghurtminták elkészítéséhez fagyasztva szárított termofil joghurtkultúrát használtam. Mintáim között volt laktóz és laktózmentes, valamint papain enzimmel kezelt és kezeletlen. Ezt követően megfelelő arányban sűrített céklahéj extraktumot kevertem hozzájuk. A joghurtminták színmérése során az eredmények bizonyították, hogy a minták színe közötti különbségek szemmel is jól érzékelhetőek voltak. A joghurtok antioxidáns kapacitásának

vizsgálata során megfigyelhető volt az antioxidáns tartalom növekedése a hozzáadott céklahéj extraktum mennyiségének növelésével, tehát a céklalé használható a joghurtok antioxidáns aktivitásának növelésére. Továbbá a nátrium-dodecil-szulfát-poliakrilamid-gélelektroforézis (SDS-PAGE) gélképén jól látható volt az enzimes hidrolízis tejfehérjékre gyakorolt hatása. A papain enzimmel történő enzimes hidrolízis során csökkent a nagymolekulású fehérjék gélképén látható intenzitása, mely a fehérjék hidrolízisére utal. A hidrolízis hatására csökkent a fehérjék allergénhatása. A csökkentett allergéntartalmú tejtermék előállítása véleményem szerint sikeresnek bizonyult. A jövőbeni kutatások során érdemes lenne más enzimek és zöldség/gyümölcs feldolgozásából származó melléktermékek technológiába beépülő lehetőségének a vizsgálatára.

Szomszéd Aliz

## 6. IRODALMI HIVATKOZÁSOK

1. Alpay, P., Uygun, D.A. (2014): Usage of Immobilized Papain for Enzymatic Hydrolysis of Proteins. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*. DOI:111.10.1016/j.molcatb.2014.11.001.
2. Amiot, J., Fournier, F., Lebeuf, Y., Paquin, P., Simpson, R. (2002): Composition, propriétés physicochimiques, valeur nutritive, qualité technologique et technique d'analyse du lait. DOI:10.2307/j.ctv1g246f4
3. Amri, E., Mamboya, F. (2012): Papain, a plant enzyme of biological importance: A review. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*. 8. 99 DOI:104.10.3844/ajbbsp.2012.99.104.
4. Babinszky-Székely D. (2019): Különböző céklafajták beltartalmi paramétereinek és szárítás hatására bekövetkező változásainak vizsgálata, Doktori értekezés, Szent István Egyetem
5. Bangar, S.P., Sharma, N., Sanwal, N., Lorenzo, J.M., Sahu, J.K. (2022): Bioactive potential of beetroot (*Beta vulgaris*). *Food Research International* (158). ISSN 0963-9969. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111556>
6. Benzie, I. F., Strain, J. J. (1996): The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Anal. Biochem.* 239: 70-76.
7. Bhardwaj, K., Najda, A., Sharma, R., Nurzyńska-Wierdak, R., Dhanjal, D.S., Sharma, R., Manickam, S., Kabra, A., Kuča, K., Bhardwaj, P. (2022): Fruit and Vegetable Peel-Enriched Functional Foods: Potential Avenues and Health Perspectives. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* (2022): 14. Article ID 8543881. <https://doi.org/10.1155/2022/8543881>
8. Bhattacharjee, C., Saxena, V.K., Dutta, S. (2017): Fruit juice processing using membrane technology: A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* (43): 136-153. ISSN 1466-8564. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.08.002>
9. Brzezińska-Rojek, J., Sagatovych, S., Malinowska, P., Gadaj, K., Prokopowicz, M., Grembecka, M. (2023): Antioxidant Capacity, Nitrite and Nitrate Content in Beetroot-Based Dietary Supplements. *Foods* 12(5): 1017. <https://doi.org/10.3390/foods12051017>
10. Cardoso-Ugarte, G.A., Sosa-Morales, M.E., Ballard, T., Liceaga, A., San Martín-González, M.F. (2014): Microwave-assisted extraction of betalains from red beet (*Beta*

- vulgaris). *LWT - Food Science and Technology* (59): 1., 276-282. ISSN 0023-6438. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.05.025>.
11. Chandan, R.C. (2007): Manufacturing Yogurt and Fermented Milks. DOI:10.1002/9780470277812.
  12. Chen, L., Zhu, Y., Hu, Z., Wu, S., & Jin, C. (2021): Beetroot as a functional food with huge health benefits: Antioxidant, antitumor, physical function, and chronic metabolomics activity. *Food Science & Nutrition* (9): 11., 6406–6420. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2577>
  13. Chhikara, N., Kushwaha, K., Sharma, P., Gat, Y., Panghal, A. (2018): Bioactive compounds of beetroot and utilization in food processing industry: A critical review. *Food Chemistry* 272(30): 192-200. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.08.022
  14. Corrieu, G., Béal, C. (2016): Yogurt: The Product and its Manufacture. *Encyclopedia of Food and Health*. DOI:10.1016/B978-0-12-384947-2.00766-2
  15. Csapó J., Albert Cs., Szigeti T.J. (2019): Funkcionális élelmiszerek. *Élelmiszervizsgáló Közlemények* (65): 1., 2340–2348. HU ISSN 0422-9576.
  16. Dhiman, A., Suhag, R., Singh Chauhan D., Thakur, D., Chhikara, S., Prabhakar, P.K. (2021): Status of beetroot processing and processed products: Thermal and emerging technologies intervention. *Trends in Food Science & Technology* (114): 443-458. ISSN 0924-2244. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.042>
  17. Elnour, M., Meskin, N., Khan, K.M., Jain, R., Zaidi, S., Siddiqui, H. (2020): Full-Scale Seawater Reverse Osmosis Desalination Plant Simulator. Qatar National Research Fund (a member of Qatar Foundation) under NPRP Grants number NPRP 10 – 0206 – 170360. *IFAC-PapersOnLine* (53): 2., 16561-16568. ISSN 2405-8963. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.780>
  18. Fenyvessy, J., Csanádi, J., Csapó, J., Csapó-Kiss, Zs. (2014): Tejipari technológia, Tej és tejtermékek a táplálkozásban 20. fejezet. In: Csapó J. (szerk.): A tej összetevőinek táplálkozási értéke. *Scientia Kiadó*, Kolozsvár, 251-347. o. ISBN: 978-973-1970-80-6
  19. Goff, H.D., Hill, A.R. (1993): Chemistry and physics. In: YH Hui (Ed), Dairy Science and Technology Handbook, Vol. 1: Principles and Properties. *VCH Publishers*, New York, pp. 1–62 ISBN: 978-0-470-12706-3
  20. Han, D., Kim, S.J., Kim, S.H., Kim, D.M. (1998): Repeated Regeneration of Degraded Red Beet Juice Pigments in the Presence of Antioxidants. *Journal of Food Science* 63: 69-72. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1998.tb15678.x>

21. Hegedűs A., Pap, N., Pfeiffer P., Stefanovitsné B. É., Szabó, Z. (2012) A gyümölcsök antioxidáns kapacitásának jellemzésére használt kémiai módszerek. In: Hegedűs A., Papp N., Pfeiffer P., Stefanovitsné É., Szabó Z. (szerk.): Természetes antioxidáns forrásunk: A gyümölcs. Debreceni Egyetem, AGTC, Kertészettudományi Intézet, 127-130.
22. Herbach, K., Stintzing, F., Carle, R. (2006): Betalain Stability and Degradation—Structural and Chromatic Aspects. *Journal of Food Science* (71): 41-50. DOI:10.1111/j.1750-3841.2006.00022.x.
23. Hodossi S. (2000): A sárgarépa és a cékla szerepe az emberi táplálkozásban, az egészség megőrzésében és helyreállításában. *Hajtatás - Korai Termesztés, Zöldségtermesztés* (31): 1., 23-26.
24. Internet 1.: Egészségi állapot, betegségek, 2019. [https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/elef/egeszsegi\\_allapot\\_2019/egeszsegi\\_allapot\\_2019.pdf](https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/elef/egeszsegi_allapot_2019/egeszsegi_allapot_2019.pdf)
25. Internet 2.: Táplálkozás, tápláltság, 2019. [https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/elef/taplalkozas\\_2019/taplalkozas\\_2019.pdf](https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/elef/taplalkozas_2019/taplalkozas_2019.pdf)
26. Internet 3.: Laktózérzékenység: a tejmentes étrend nem megoldás. <https://semmelweis.hu/hirek/2014/12/16/laktozerzekenyseg-a-tejmentes-etrend-nem-megoldas/>
27. Juhász,Cs., Zsembeli, J. (Szerk.) (2005): Az Európai Unió mezőgazdasága - Hasznos információk fiataloknak. *Szaktudás Kiadó Ház*, Budapest ISBN: 963 9553 42 5
28. Kähkönen, M. P., Hopia, A. I., Vuorela, H. J., Rauha, J.-P., Pihlaja, K., Kujala, T. S., & Heinonen, M. (1999): Antioxidant Activity of Plant Extracts Containing Phenolic Compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47(10): 3954–3962. <https://doi.org/10.1021/JF990146L>
29. Kovács, A. (Szerk.) (2011): Gyökérzöldségek termesztése. *Mezőgazda Kiadó*: 87-91. ISBN: 978-963-286-633-8
30. Martirosyan D., Kanya H., Nadalet C. (2021): Can functional foods reduce the risk of disease? Advancement of functional food definition and steps to create functional food products. *Functional Foods in Health and Disease* 11(5): 213-221. DOI: <https://www.doi.org/10.31989/ffhd.v11i5.788>

31. Munir, A., Sultana, B., Bashir, A., Ghaffar, A., Munir, B., Shar, G.A., Nazir, A., Iqbal, M. (2018): Evaluation of Antioxidant Potential of Vegetables Waste. *Pol. J. Environ. Stud.* (27): 2., 947-952. DOI: 10.15244/pjoes/69944
32. Nagy J. (2006): Gyökérzöldség-növények. In: Zöldségtermesztő mester könyve. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 184-185.
33. Nemzer, B., Pietrzkowski, Z., Spórna, A., Stalica, P., Thresher, W., Michałowski, T., Wybraniec, S. (2011): Betalainic and nutritional profiles of pigment-enriched red beet root (*Beta vulgaris* L.) dried extracts. *Food Chemistry* (127): 1., 42-53. ISSN 0308-8146
34. Nkhili, E., Tomao, V., El Hajji, H., El Boustani, E.-S., Chemat, F. and Dangles, O. (2009): Microwave-assisted water extraction of green tea polyphenols. *Phytochem. Anal.* (20): 408-415. <https://doi.org/10.1002/pca.1141>
35. Pereira, D.M., Valentão, P., Pereira, J.A., Andrade, P.B. (2009): Phenolics: From Chemistry to Biology. *Molecules* 14(6): 2202-2211. <https://doi.org/10.3390/molecules14062202>
36. Polturak, G., Aharoni, A. (2017): “La Vie en Rose”: Biosynthesis, Sources, and Applications of Betalain Pigments. *Molecular Plant* (11): 1., 7-22. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molp.2017.10.008>
37. Roberfroid, M. (2002): Global view on functional foods: European perspectives. *British Journal of Nutrition* 88(S2), S133-S138. doi:10.1079/BJN2002677
38. Sampson, H. A. (2004): Update on food allergy. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 113: 805-819.
39. Sevelle, B. (2012): Biomérnöki műveletek és folyamatok. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar, egyetemi tananyag
40. Singleton, V. L., Rossi, J. A., (1965): Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid „reagents”. *American Journal of Enology and Viticulture* (16): 144-158.
41. Suksombat, W., Meeprom, C., Mirattanaphrai, R. (2013): Milk Production, Milk Composition, Live Weight Change and Milk Fatty Acid Composition in Lactating Dairy Cows in Response to Whole Linseed Supplementation. *Anim Biosci* 2013; 26(8):1111-1118. DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13027>
42. Szakály, S. (2001): Tejgazdaságtan. *Dinasztia kiadó*, Budapest, pp: 66-94, 427-449. ISBN 963 657 333 6
43. Székely D., Máté M. (2022): Red Beetroot (*Beta Vulgaris* L.). In: Advances in Root Vegetables Research. IntechOpen. DOI: 10.5772/intechopen.106692.



44. Takács, L., (2010): A membránszeparáció szerepe borok alkoholcsökkentésében és ipari alkoholdehidratációjában, PhD dolgozat, Budapesti Corvinus Egyetem
45. Takácsné Hájos M. (1996): Cékla (*Beta vulgaris ssp. esculenta var. rubra*) táplálkozásélettani hatása és termesztésének sajátosságai. *Hajtatás - Korai Termesztés, Zöldségtermesztés* (27): 3., 17-19.
46. Takácsné Hájos M. (2000): Gyökérezöldségfélék termesztési tapasztalatai réti öntés talajon. *Hajtatás - Korai Termesztés, Zöldségtermesztés* (31): 1., 27-31.
47. Takácsné Hájos M. (2015): A termesztési mód és a bioaktív anyagok vizsgálatának eredményei különböző gyökérezöldség fajoknál. *Debreceni Szemle* (23): 1., 20-31.
48. Tan, M.L., Hamid S.B.S. (2021): Beetroot as a Potential Functional Food for Cancer Chemoprevention, a Narrative Review. *J Cancer Prev* 26(1): 1-17. <https://doi.org/10.15430/JCP.2021.26.1.1>
49. Tóth, L., Bak, J. (2001): A minőségi tejtermelés technikája. *Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó*, Budapest, pp: 159-166. ISBN 963 356 324 0
50. Vahid, Y., Kóbori, J. (2003): Korszerű tejtermelés és -feldolgozás: A takarmányozástól a tejtermékekig. *Szaktudás Kiadó Ház*, Budapest pp: 45-64, 139-153. ISBN: 963 9422 77 0
51. Zin, M., Borda, F., Márki, E., Bánvölgyi, Sz. (2020): Betalains, total polyphenols, and antioxidant contents in red beetroot peel (Cylinda type). *Progress in Agricultural Engineering Sciences*. 16. DOI:10.1556/446.2020.20004.

## NYILATKOZAT

### a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Szomszéd Aliz  
A Hallgató Neptun kódja: LPL2KV  
A dolgozat címe: Membránszűréssel koncentrált céklalé extraktum felhasználása tejtermékek funkcionális tulajdonságainak javítása érdekében.  
A megjelenés éve: 2023  
A konzulens tanszék neve: Élelmiszeripari Műveletek és Folyamattervezés Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, s az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

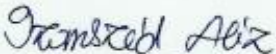
Ha a fenti nyilatkozattal valótlant állítottam, tudomásul veszem, hogy a Záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

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 szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

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

Kelt: 2023. 05. 07.

  
Hallgató aláírása

**KONZULTÁCIÓS  
NYILATKOZAT**

**Szomszéd Aliz** (hallgató Neptun azonosítója: **LPL2KV**) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot<sup>1</sup> áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.


A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom<sup>2</sup>.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem<sup>3</sup>

Kelt: Budapest, 2023. 05. 08.

  
Belső konzulens

  
Belső konzulens

  
Belső konzulens

## **Köszönetnyilvánítás**

Ezúton szeretném köszönetem kifejezni témavezetőim, Dr. Csighy Attila (Egyetemi tanársegéd), Dr. Bánvölgyi Szilvia (Egyetemi docens), Dr. Arijit Nath (Post Doctoral Research Fellow), felé, akik dolgozatom elkészítésekor mindig a segítségemre álltak, és tudásomat bővítették. Valamint meg szeretném köszönni Dr. Koris András (Tanszékvezető) türelmét és segítségét.

Szomszéd Aliz