



MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

DOKTORI ÉRTEKEZÉS

**KOMBINÁLT KÍMÉLETES TECHNOLÓGIÁK KEZELÉSI
SORRENDJÉNEK HATÁSA SZAMÓCAPÜRÉKRE**

DOI: 10.54598/001190

Salamon Bertold

Budapest

2021

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem - Élelmiszertudományi Doktori Iskola

A doktori iskola megnevezése: Élelmiszertudományi Doktori Iskola

Tudományága: Élelmiszertudományok

Vezetője: **Simonné Dr. Sarkadi Livia**, Egyetemi tanár, DSc
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Élelmiszertudományi és
Technológiai Intézet, Táplálkozástudományi Tanszék

Témavezetők: **Dr. Dalmadi István**
Egyetemi docens, PhD
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Élelmiszertudományi és
Technológiai Intézet, Állattermék és Élelmiszertartósítási Technológia
Tanszék

A doktori iskola- és a témavezető jóváhagyó aláírása:

A jelölt a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, a műhelyvita során elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, ezért az értekezés védési eljárásra bocsátható.

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS	5
Célkitűzések	7
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	8
2.1. A szamóca jellemzése.....	8
2.1.1. <i>A szamóca táplálkozásbiológiai értéke és kémiai összetétele.....</i>	8
2.1.2. <i>A szamóca bioaktív komponenseinek jellemzői</i>	9
2.1.3. <i>A szamóca élelmiszeripari jelentősége és felhasználási lehetőségei.....</i>	11
2.2. Nagy hidrosztatikus nyomáskezelés jellemzői.....	13
2.2.1. <i>A HHP hatása a szamóca bioaktív komponenseire</i>	15
2.2.2. <i>A HHP hatása a mikroorganizmusokra és az eltarthatóságra.....</i>	18
2.2.3. <i>A HHP kezelt szamócában található enzimek és a tárolás során bekövetkező változások összefüggései</i>	21
2.3. A HHP technológia ipari alkalmazásának jelenlegi helyzete	22
2.4. A HHP technológia alkalmazásának korlátai a minőségmegőrzés tekintetében ..	26
2.5. A HHP technológia kombinált alkalmazási lehetőségei	27
2.6. A HHP kéméletes hőkezeléssel kombináltan történő alkalmazása (HPT).....	28
2.6.1. <i>A HPT kezelések hatása a szamóca bioaktív komponenseire és érzékszervi jellemzőire ...</i>	30
2.6.2. <i>A tárolás során bekövetkező változások a HPT kezelt szamócapürében.....</i>	31
2.7. A HPT élelmiszeripari alkalmazásának és kereskedelmi forgalomba helyezésének problematikája	32
3. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK	35
3.1. A gyümölcs alapanyag és mintaelőkészítés.....	35
3.2. A minták HHP és kéméletes hőkezelése	36
3.3. A szamóca fiziko-kémiai és beltartalmi jellemzőinek meghatározása.....	38
3.3.1. <i>A szamócapüré színezeti jellemzőinek a meghatározása.....</i>	38
3.3.2. <i>A pH érték meghatározása</i>	40
3.3.3. <i>Antocianin-tartalom meghatározása</i>	40
3.3.4. <i>Összes polifenol-tartalom meghatározása</i>	41
3.3.5. <i>Antioxidáns kapacitás meghatározása FRAP módszerrel.....</i>	42
3.3.6. <i>Mikrobiológiai vizsgálatok.....</i>	43
3.3.7. <i>Érzékszervi minősítés</i>	44
3.3.8. <i>Illékony komponensek vizsgálata</i>	47
3.3.9. <i>A minták reológiai vizsgálata.....</i>	47
3.3.10. <i>Az eredmények statisztikai kiértékelése</i>	48

4. EREDMÉNYEK.....	49
4.1. Mikrobiológiai vizsgálatok eredményei.....	49
4.1.1. Élősejtszám változása.....	49
4.1.2. Élesztő- és penészgombaszám változása.....	50
4.2. A pH érték változása	51
4.3. A színmérés eredményei.....	53
4.3.1. Az <i>a*</i> piros színtkomponens változásai	53
4.3.2. Az <i>L*</i> világossági színtkomponens változásai	55
4.3.3. Az <i>b*</i> sárga színtkomponens változásai	58
4.3.4. A színingerkülönbség értékek változásai	59
4.4. A bioaktív komponensek méréseinek eredményei.....	62
4.4.1. Az antocianin mérés eredményei.....	62
4.4.2. Az összes polifenol-tartalom meghatározás eredményei.....	67
4.4.3. Az antioxidáns-kapacitás mérés eredményei.....	69
4.5. Az eredmények kiértékelése a 2ⁿ faktoriális kísérletterv alapján	72
4.6. Érzékszervi bírálatok kiértékelése	77
4.6.1. A kezelést követő változások vizsgálata.....	78
4.6.2. A 14 napos tárolást követő változások vizsgálata	80
4.7. Az illékony komponensek eredményeinek értékelése.....	84
4.8. Az reológiai vizsgálatok eredményeinek értékelése.....	89
4.9. Az eredmények kiértékelése többtényezős (MFA, Multiple Factor Analysis) statisztikai módszerrel.....	96
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	104
6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	106
7. ÖSSZEFOGLALÁS.....	107
8. MELLÉKLETEK.....	116
M1. Irodalomjegyzék.....	116
M2.	130
M3.	133
Köszönetnyilvánítás	134

1. BEVEZETÉS

A modern fogyasztók egészségtudatos és wellness orientált életmódja arra ösztönözte az élelmiszer előállítókat, hogy olyan alternatív élelmiszertartósítási technológiákat alkalmazzanak, melyekkel minél inkább megőrizhető az élelmiszerek frissessége, valamint azok kedvező beltartalmi értéke.

Társadalmunk rohanó életmódja elősegíti az olyan betegségek kialakulását, mint a szív- és érrendszeri problémák, emésztési zavarok, valamint különböző mentális eredetű betegségek, mint például a depresszió. A különböző zöldségek és gyümölcsök jótékony hatása ma már közismert. A flavonoid és a polifenol vegyületek nem csak az immunrendszert erősítik, hanem ezen felül még gyulladáscsökkentő hatással is rendelkeznek, valamint segítenek megelőzni és leküzdeni a különböző stresszhatások által kiváltott betegségeket (HALVORSEN et al. 2006, EDIRISINGHE et al. 2010). A bogyós gyümölcsök, mint például a szamóca, jelentős mennyiségeket tartalmaznak az ilyen pozitív tulajdonsággal rendelkező vegyületekből (WU, PRIOR 2005). A legújabb publikációk azt mutatják, hogy a frissen vagy feldolgozva fogyasztott eper (például gyümölcslé, ital, püré vagy por formájában) védelmet nyújthat a gyulladás, az oxidatív stressz, a 2-es típusú cukorbetegség, a szív- és érrendszeri betegségek, a magas vérnyomás, a nyelöcsőrák és az elhízás ellen (CASSIDY et al. 2011, CHEN et al. 2012, GIAMPIERI et al. 2012).

A szamóca az egyik legnépszerűbb bogyós gyümölcs, melyet világszerte termesztnek. Részaránya az összes bogyós gyümölcsből eléri a 60-65%-ot (PAPP, PORPÁ CZY 1999). Nagy mennyiségben tartalmaz C-vitamint és jelentős mennyiségű ásványi anyagot, főleg kalciumot, káliumot, foszfort, magnéziumot és vasat. Az alacsony energia-, magas szerves sav- és rostanyag tartalommal rendelkező szamóca gyümölcs étrendi hatása kiváló és korszerű táplálkozási igényeinknek messzemenően megfelel. Emellett jelentős bennük az antocianinok, flavonoidok és fenolos karbonsavak mennyisége is (EDIRISINGHE et al. 2011, SEERAM et al. 2006). PANDEY és munkatársai (2009) bebizonyították, hogy a fenolok pozitív hatást gyakorolnak a magas vérnyomás, szív- és érrendszeri betegségek és más krónikus betegségek esetében, amelyek kifejezetten antioxidáns tulajdonságaikkal kapcsolatosak. Pontosabban bebizonyosodott, hogy a különféle polifenolokat (fenolsavak, flavonolok, proantocianidinek, rezveratrol vagy antocianinok) tartalmazó termékekben gazdagított étrend csökkentheti a korai halálozás és a gyulladós reakciók kockázatát, valamint az életkor által indukált oxidatív stresszt, illetve segíti számos degeneratív betegség megelőzését (SANCHEZ-MORENO et al. 2009). A polifenolok körében különös figyelmet kapnak az antocianinok, mivel alapvetően ezen vegyületek felelősek a bogyósok élénkvrös színezetért és pozitív egészségügyi hatásukért (LI et al. 2017).

A magas vitamin és antioxidáns-tartalma mellett leginkább élvezeti értéke (sav-cukor arány, aroma és zamatanyagok jelenléte) miatt népszerű. Legnagyobb mennyiségben frissen fogyasztható szamóca kerül értékesítésre, azonban növekszik a különböző szamócakészítmények termékskálája is. Az ilyen készítményekkel kapcsolatosan a fogyasztói elvárások a tartósítószerrel nem tartalmazó, minimálisan kezelt gyümölcsök és zöldségek felé irányulnak, melyek fokozatosan egyre nagyobb figyelmet kapnak az elmúlt évtizedben (HUANG et al. 2017). Ezáltal egyre jobban teret nyernek a kíméletes tartósítási technológiák is. Ide tartozik a nagy hidrosztatikus nyomáskezelés (High Hydrostatic Pressure, HHP), melynek kutatási eredményei igen biztatóak.

Ellentétben a hagyományos hőkezeléssel, melynek során általában nemkívánatos változások kísérik a tartósítást, a nagy hidrosztatikus nyomáskezelés egy nem-termikus tartósítási technológia, jobban megőrizheti a szín- és aromaanyagokat, valamint a vitaminokat. Emellett fontos megjegyezni, hogy az érzékszervi tulajdonságokat nem befolyásolja jelentős mértékben. Ezenfelül a technológia hozzáadott adalékanyagok vagy tartósítószer nélkül képes biztosítani a termékek eltarthatóságát. Mindezek alapján a technológia a kíméletes tartósítási technológiák oszlopos tagja (DARYAEI, BALASUBRAMANIAN 2012). A kíméletes, nem-termikus technológiák közül a nagy hidrosztatikus nyomáskezelés (400-600 MPa, hűtött vagy mérsékelt hőmérsékleten) az egyik legsikeresebben adoptált technológia az élelmiszeriparban, ugyanis az általa nyújtott előnyök kielégítették a fogyasztók egészségtudatos elvárásait és számos innovatív élelmiszeripari termék fejlesztését tették lehetővé. Jelentős a szerepe a nagy mennyiségű, de sérülékeny egészségmegőrző bioaktív komponenst tartalmazó élelmiszer készítmények tartósításában. A technológia fejlődésével egyre több fajta nyomáskezelt élelmiszer jelenik meg a piacokon és egyre nagyobb mennyiségben, ennek köszönhetően kedvezőbb árakon lesznek elérhetőek.

A technológia még sok kutatást igényel, hogy a biztonságos élelmiszer-előállítás mellett a kezelést követő tárolási időszak alatt is minél inkább megőrizhetőek legyenek a bioaktív komponensek, illetve a termékek frissességre utaló érzékszervi jellemzői. Ehhez gyakran más kíméletes tartósítási technológiákkal kombináltan történő alkalmazásával kísérleteznek. Egyik ilyen sikeres próbálkozás a HHP kíméletes hőkezeléssel kombináltan történő alkalmazása, mely már számos kutatásnak szolgált alapjául megbízható eredményeket produkálva, hatékonyabban biztosítva a fentebb említett pozitív jellemzőket a tárolás során is (MARSZALEK et al. 2017). Ezért dolgozatom elkészítése során célul tűztem ki, hogy tanulmányozom a nagy hidrosztatikus nyomáskezelés kíméletes hőkezeléssel kombináltan történő alkalmazásának hatását a szamócapüré eltarthatóságának, valamint beltartalmi értékeinek, érzékszervi és egyéb minőségjellemzőinek megőrzése céljából, a kezelés és a tárolás folyamán egyaránt.

Célkitűzések

Dolgozatom elkészítése során célul tűztem ki, hogy megvizsgáljam a HHP kezelés és a kíméletes hőkezelés kombinált alkalmazásának lehetőségét számacapürék esetében oly módon, hogy a kezelések térben és időben egymástól elkülönítve történő kivitelezése során hogyan és milyen mértékben változnak a számacapüre érzékszervi, beltartalmi és fiziko-kémiai paraméterei, valamint hogy ezekben a változásokban közrejátszik-e az egyes kezelések kivitelezésének a sorrendje, és ha igen, milyen esetekben és mértékben.

Kísérleteim során a következő kérdésekre kerestem a választ:

1. Hogyan változnak a számacapüre beltartalmi és fiziko-kémiai paraméterei a nagy hidrosztatikus nyomáskezelés és kíméletes hőkezelés kombinált alkalmazása során, ha a kezeléseket nem szimultán, hanem térben és időben elkülönítve végezzük el?
2. A kezelések kivitelezésének sorrendisége között van-e különbség, melyik sorrend a kedvezőbb?
3. A hűtve tárolás során milyen változások jelennek meg a kombinált kezelésben részesült számacapürék esetében a kezelések szintjei, sorrendjei, illetve a tárolási hőmérséklet függvényében?
4. Annak megállapítása, hogy számacapüre esetében milyen nyomáskezelési szint és kezelési hőmérséklet milyen sorrendű alkalmazása a leginkább ajánlott, hogy az esetleges változások a legkisebb mértékűek legyenek?

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A szamóca jellemzése

2.1.1. A szamóca táplálkozásbiológiai értéke és kémiai összetétele

A bogyós gyümölcsök (szamóca, málna, áfonya, bodza, szeder, csipkebogyó, köszméte stb.) kiváló beltartalmi értékekkel rendelkeznek, és rendkívül sokoldalúan felhasználhatók. Ezek a gyümölcsök olyan összetételben tartalmazzák a szénhidrátokat, szerves savakat, vitaminokat és az ásványi anyagokat, melyek a szervezet számára ideálisak. A bogyós gyümölcsök fogyasztása anyagcsere élénkítő hatású, rendszeres fogyasztások által a szervezet ellenálló képessége nő, emellett szerepük jelentős lehet a szervezet ásványi anyag- és vitaminellátásában. Alacsony energiatartalmuk és bioaktív komponenseik miatt diétás étrendek fontos összetevői lehetnek.

A szamócának, habár a legízletesebb gyümölcsök közé tartozik, rendkívül rövid a szedés utáni eltarthatósági ideje. Mind a vadonélő, mind a termesztett szamóca a *Rosacea* (Rózsafélék) családjába és a *Fragaria* (Szamóca) nemzetségébe tartozik. A kereskedelemben a *Fragaria x ananassa* fordul elő a leggyakrabban. A termesztett változat (*F. ananassa*) a *F. chilesensis* és a *F. virginiana* hibridje (MÉNAGER 2004).



1. ábra A szamóca külső és belső megjelenése (Forrás: www.chemistryworld.com)

Tavasszal a gyümölcsök közül elsőként megjelenő szamóca (1. ábra) tölti be a nyári gyümölcsök iránti hónapok óta fennálló hiányt. Ez az unikum jelleg az egyik oka a szamóca kedveltségének. A népszerűség másik vélelmezhető magyarázata az indirekt reklám. A gyümölcsök a reklámokban sokszor csak egy-egy termék, szolgáltatás kísérőjeként jelennek meg (BABICZ 2002). A gyümölcsjoghurtok, jégkrémek, egyéb tej- és édesipari készítmények gyártóinak jóvoltából a

szamóca nagyon sok hirdetésben szerepel. A szamócagyümölcs szárazanyagtartalma viszonylag alacsony. Átlagosan 100 g friss gyümölcs 88–92% vizet, 6–8% cukrot, 0,8–1,1% szerves savat, 1,2–1,5% cellulózt, 40–80 mg aszkorbinsavat és jelentős mennyiségű, 0,5–0,6% ásványi anyagot tartalmaz, főleg káliumot, kalciumot, foszfort, magnéziumot és vasat (PAPP, BUBÁN 2004). Fogyasztása táplálkozás-élettani szempontból rendkívül előnyös, mert serkenti a gyomor- és bélműködést, valamint a belső elválasztású mirigyek tevékenységét. Hozzájárul az emberi szervezet ellenálló képességét meghatározó immunanyagok képződéséhez.

Színanyagai általában antocianinok, flavonoidok, karotinoidek, melyek antioxidáns szereppel rendelkeznek és hatékonyan vesznek részt az egészségkárosító szabadgyökök semlegesítésében (GIAMPIERI et al. 2012).

A Nemzeti Egészségügyi és Táplálkozási Felmérés Vizsgálat során az Egyesült Államokban 2001-2002-ben több ezer élelmiszer, illetve élelmiszer alapanyag antocianin-tartalmát vizsgálták meg, és arra a következtetésre jutottak, hogy a naponta átlagosan elfogyasztott antocianin mennyiség 12,5 mg/nap/fő. Nyilvánvalóvá vált, hogy ezt legfőképp a gyümölcsök, ezen belül is bogyósok, valamint a gyümölcslevek és a borfogyasztás fedezi. Azonban igen könnyen túlléphetjük a napi 100 mg/nap/fő fogyasztást is, ha az átlagnál kicsivel jobban odafigyelünk a gyakoribb gyümölcsfogyasztásra, különösen a bogyósokéra, melyek kiemelkedően nagy mennyiséget tartalmaznak ezen anyagokból (WU et al. 2006).

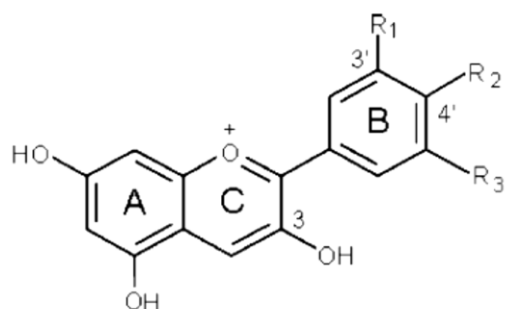
A szamóca nagy antioxidáns kapacitása pozitívan korrelál a fenol tartalommal. A fenol típusok közül specifikusan az antocianinok a leginkább számottevőek a szamócában (TULIPANI et al. 2008), melyek koncentrációja a friss gyümölcsben 200-600 mg/kg közé tehető (HEINONEN et al. 1998, WANG, JIAO 2000). A szamócafogyasztás képes elősegíteni a koleszterinszint csökkenését (BASU et al. 2014) és az *in-vivo* antioxidáns reakciókat (ALVAREZ-SUAREZ et al. 2014, BIALASIEWICZ et al. 2014).

2.1.2. A szamóca bioaktív komponenseinek jellemzői

A bioaktív vegyületek, mint például a karotinoidek és az antocianinok a gyümölcsök és zöldségek színéért felelős pigmentek. A szamóca piros színezetét elsősorban az antocianinok jelenlétének tulajdonítják. Az antocianin szó a görög anthos és kyanos szavakból származik, amelyeknek jelentése virág, illetve kék. A megnevezést eredetileg a búzavirág, *Centaureacyanus* kék színanyagának leírására használták.

A szamóca antocianin összetétele már számos kutatás témájául szolgált, de még mindig nem tisztázott teljesen. A leginkább jellemző antocianinok a pelargonidin (Pg) és a cianidin (Cy) aglikonok (MAZZA, MINIATI 1993). Az antocianidinek a flavonoid vegyületek csoportjához tartoznak és ezek a vegyületek felelősek a zöldségek és gyümölcsök színének kialakításáért. A flavonoidoknak jelentős szerep tulajdonítható az egészségmegőrzésben és a betegségmegelőzésben, kiváló antioxidánsok, allergiaellenes hatásuk is ismert, valamint C- és E-vitamin analógnak viselkednek. A flavonoidok az élelmiszerek nem tápanyag komponensei, vagyis nem jelentenek tápértéket az emberi szervezet számára. Ezek a polifenolos komponensek a növényi metabolizmus másodlagos anyagcseretermékei, melyek megvédik a növényt a különböző stresszhatásoktól. Közel 8000 flavonoid vegyület ismert. Mint a növényi metabolizmus

másodlagos anyagcseretermékeinek, számos funkciót tulajdonítanak a növényvilágban: pigmentálás, az UV-fény, a mikroorganizmusok és egyéb növényi kártevők, gombák, csigák, rovarok elleni védelem (repellens hatás), enzimaktivitások regulációja, szignál funkció a nitrogénkötő baktériumok számára. Az élelmiszerként szolgáló növényi anyagokban természetes színezőanyagok, ízkomponensek, antioxidánsok. A növényi színanyagok (kék, ibolya, piros, narancssárga, sárga) nagy része is ehhez a csoportoz tartozik (RICE-EVANS et al. 1997). Ezen molekulák által mutatott színintenzitást a flavilium ion rezonancia szerkezete okozza (WROLSTAD et al. 2005).



ANTHOCYANIDIN	R ₁	R ₂	R ₃
Pelargonidin (Pg)	H	OH	H
Cyanidin (Cy)	OH	OH	H
Delphinidin (Dp)	OH	OH	OH
Peonidin (Pn)	OMe	OH	H
Petunidin (Pt)	OMe	OH	OH
Malvidin (Mv)	OMe	OH	OMe

2. ábra A leggyakrabban előforduló antocianidinek kémiai szerkezete (WU et al. 2006 nyomán)

500 különböző antocianint (ANDERSEN, MARKHAM 2006) és 23 antocianidint fedeztek fel, melyekből csak hat az, mely a leggyakoribb és a legtöbb élelmiszerben előfordul (2. ábra): Pelargonidin, Peonidin, Cianidin, Malvidin, Petunidin és Delphinidin (CLIFFORD, 2000). Az antocianidinek és glikozidjaik, az antocianinok a bogyós gyümölcsök, bodza, szeder, meggy, szőlő, cseresznye, szilva, padlizsán, vöröskáposzta, retek, cékla és még sok más zöldség, illetve gyümölcs színének kialakításában vesznek részt, ezen termékek jelentős mennyiségeket tartalmaznak e pozitív hatású vegyületekből. Bár a különböző eperfajtákban eddig több, mint 25 antocianin vegyületet azonosítottak, a leggyakoribb a pelargonidin-3-glükózid, mint fő pigment (az összes antocianin 77–95% -a), amelyet a pelargonidin-3-rutinozid és a cianidin-3-glükózid követ (GOIFFON et al. 1999, DA SILVA et al. 2007). Az antocianinok színe nagymértékben függ a közeg pH-jától. Általában vörös színűek 3,5-ös pH értéken, pH emelkedéssel színtelenné válnak, majd a lúgos tartományban kékek lesznek. Az antocianinok kémiai stabilitásának vizsgálata igen

Az antocianidinek egy aromás gyűrűt tartalmaznak, ami egy oxigént tartalmaz heterociklikus gyűrűhöz kötött formában, mely szintén egy aromás gyűrűhöz kapcsolódik C-C kötéssel. Az antocianidin molekuláknak alapvetően egy 15 szénatomból álló váz a felépítése (C₆–C₃–C₆ váz). Amikor az antocianidinek glükózid formában vannak jelen (cukorrészhez kötve), akkor úgy ismertek, mint antocianinok. A cukorrész a vízzoldhatóságot javítja, és megvédi a molekulát a kémiai, enzimes behatásoktól. Savas pH-n az antocianinok pozitív töltésűek, ezt az egyensúlyi formát flavilium kationnak nevezik (2-fenil-benzo-pirillium). Mostanáig

gyakori kutatási téma jelenleg, köszönhetően a számos alkalmazási lehetőségüknek, az egészségmegőrző hatásuknak és a természetes színanyagként való alkalmazhatóságának (REIN 2005).

Az antocianinok kiváló szabadgyökfogó kapacitással rendelkeznek, és a lipidperoxidáció gátlásában töltenek be fontos szerepet (RICE-EVANS et al. 1997). Ezek a vegyületek képesek megragadni a szabad gyököket egy fenolos hidrogén atom átadása által (CHEN et al. 1996, RICE-EVANS et al. 1996). Ez az oka az antikarcinogén aktivitásnak (KAMEI et al. 1995). A bogyós gyümölcsökben az antioxidáns aktivitás egyenesen arányos az antocianin tartalommal (HEINONEN et al. 1998).

Az antocianinok sajnos igen érzékeny molekulák, stabilitásukat számos faktor befolyásolja úgymint: pH, hőmérséklet, kémiai szerkezet, koncentráció, fény, UV-sugárzás, oxigén, oldott anyagok, enzimek jelenléte, flavonoidok, fehérjék és fémek ionok (REIN, 2005), de még az aszkorbinsav jelenléte is befolyásolhatja stabilitásukat. Az antocianinok és az aszkorbinsav is igen kis stabilitású vegyületek, a hőkezelés csökkentheti az antioxidáns aktivitását és a koncentrációját ezeknek a vegyületeknek (PATRAS et al. 2010).

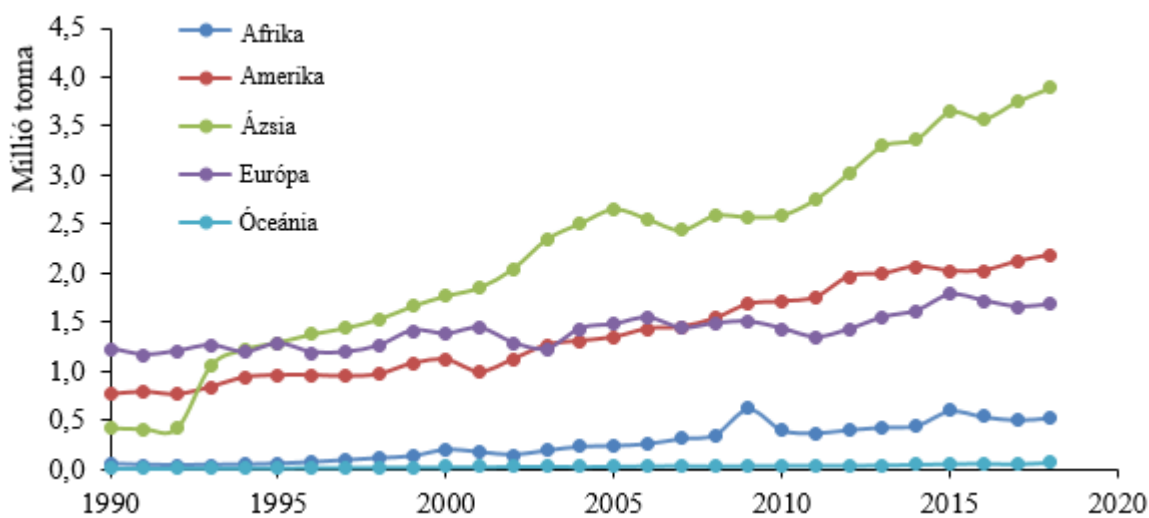
Az antocianinok hőstabilitása nagymértékben függ a három fő természetes előfordulási forma egyensúlyától is, azaz a flavilium kationok, pszeudo-bázisok és kalkónok egyensúlyától. A hőmérséklet növelése megzavarja ezt az egyensúlyt, és színtelen kalkónok képződését idézi elő, ami a kinoid-bázisok és a flavilium kationok tartalmának csökkenésével jár. Hosszan tartó, magas hőmérsékletnek való kitettség során a keletkező kalkónok könnyen átalakulnak barnás színezetű polimerekké, ami a szamócából készült termékek barnulását eredményezi a feldolgozás és tárolás során (ÖZKAN 2002, ODRIOZOLA-SERRANO et al. 2008).

2.1.3. A szamóca élelmiszeripari jelentősége és felhasználási lehetőségei

Bár Magyarországon a 80-as évek óta csökkenő tendencia mutatkozik a szamóca-termesztésben, világszerte növekvő trendet mutat (3. ábra). Az elmúlt 30 évben a világ szamóca-termesztése megháromszorozódott, és ma már évente összesen több mint 8 millió tonna szamócát termelnek a világon. Különösen Ázsiában növekszik a szamóca-termesztés mennyisége az elmúlt 30 évben, de Európa és az amerikai kontinens termesztése is folyamatosan növekvő tendenciát mutat.

A fogyasztók élénk érdeklődésének fenntartásához nagyban hozzájárul a feldolgozott termékek egyre szélesebb kínálata. A friss piaci szamóca a teljes szamóca-termesztésnek mintegy 80 %-a, míg a többit ipari feldolgozásra szánják (ORNELAS-PAZ et al. 2013). A különféle tartósított termékekkel egész évben folyamatosan hozzáférhetünk ezekhez a remek érzékszervi tulajdonságokkal rendelkező gyümölcsökhöz. Első helyen kell megemlíteni a gyorsfagyasztott

bogyós termékek forgalmazását, de számos konzervipari megoldás (dzsem, szörp, gyümölcslé, püré, sűrítvény) segíti a gyümölcsökben rejlő biológiailag aktív anyagok fogyasztókhöz való eljuttatását is. Sajátos szín-, íz- és aromaviláguknak köszönhetően kitűnően illenek a tej- és édesipari termékekhez, ezáltal a fagyalt- és joghurttermékek, valamint a gyümölcsös sütemények és torták választéka nagymértékben bővíthető velük. Száritmányaik remekül használhatók gyümölcsleves-porok, valamint gyümölcsborok és likőrök (STURM et al. 2003, GARCIA-PALAZON et al. 2004) alapanyagaként.



3. ábra A világ szamócatermesztése az elmúlt 30 évben kontinensekre bontva (FAO 2018 nyomán)

Az attraktív megjelenésű szamóca nagyon közkedvelt a fogyasztók körében, azonban nagyon érzékeny is a szín, állomány és íz szempontjából a degradációra a feldolgozás, szállítás, tárolás során. A termikus tartósítási technológiákat alkalmazzák legelterjedtebben a gyümölcslevek és pürék esetében az enzimek és mikroorganizmusok inaktiválására, általában 70–121 °C-os 30–120 másodpercig tartó hőkezeléssel (CAO et al. 2011, ZHOU et al. 2009), és ez jelentős mértékben befolyásolja a szamócából készült termékek minőségét. A folyamat során a természetes bioaktív összetevők mennyisége nagymértékben képes csökkenni, szín-, íz-, és textúraváltozást előidézve, köszönhetően ezen molekulák hőérzékenységének (ZABETAKIS et al. 2000a, PATRAS et al. 2009b).

A növekvő élelmiszer-biztonsági elvárások és az új fogyasztói igények megnövekedett figyelmet teremtenek az újfajta nem termikus tartósítási technikáknak. Ezeknek a technológiáknak is legalább 5 nagyságrendű mikrobapusztulást kell eredményezniük (WU et al. 2006). Olyan technológiák tartoznak ide, mint például a nagy hidrosztatikus nyomáskezelés, ohmikus hőkezelés, pulzáló elektromos térerő, mikrohullámú hőkezelés, gammasugárzás és ultrahangos kezelés

alkalmazása. A legfőbb elvárás ezektől az újfajta technológiáktól az, hogy minél jobban megőrizzék a friss gyümölcsre jellemző tulajdonságokat és érzékszervi jellemzőket. A minimálisan kezelt termékek előállításakor ügyelni kell, hogy a termékeket olyan kezelési eljárásoknak vessék alá, amelyek nem visznek be idegen anyagokat, az eltarthatóságot biztonságosan növelik, minimálisan hatnak az élelmiszer komplex tulajdonságaira, ezen belül leginkább az érzékszervi tulajdonságokra, valamint a tápanyag és vitamintartalomra (KONCZ et al. 2007).

Így az újfajta tartósítási technológiák alkalmazása ezen a területen számos sikert eredményezhet. A nagy hidrosztatikus nyomáskezelés egy lehetséges megoldást nyújthat a fentebb említett problémákra, mivel megtartja az eredeti frissességet, aromát, ízt és a színváltozás mértéke minimális (DEDE et al. 2007, FRAEYE et al. 2010). A nagy hidrosztatikus nyomáskezelés egy olyan alternatív technológia a hőérzékeny termékek kezelésére, mely biztosítja a mikroorganizmusok inaktiválását, és szignifikánsan csökkenti az enzimaktivitást. Mivel a nyomáskezelés főleg a nem kovalens kötésekre gyakorol hatást, így a mikrotápanyagok, pigment anyagok és az íz kialakításáért felelős összetevők nem szenvednek szignifikáns változást a nyomáskezelés során (HENDRICKX et al. 1998, BALA et al. 2008, OEY et al. 2008, ZABETAKIS et al. 2000).

A HHP kezelés azonban jelentősen megváltoztathatja a növényi szöveteket, és változásokat indukálhat azok szerkezetében és textúrájában (OTERO, PRÉSTAMO 2009, PRÉSTAMO, ARROYO 1998). Emiatt a legtöbb HHP feldolgozott gyümölcs és zöldség alapú termék püré vagy gyümölcsle formájában kerül forgalmazásra (például guacamole, gyümölcslekvár és gyümölcsle). Manapság a szamócafeldolgozó ipartól megkövetelt, hogy a szamócát félkész terméként, például szamócapüréként tartósítsák, melyet később szamócalé, egyéb üdítő formájában, vagy fagyaltokhoz és joghurtokhoz adva hoznak forgalomba (BODELÓN et al. 2013).

2.2. Nagy hidrosztatikus nyomáskezelés jellemzői

Az elképzelés, hogy a nagy hidrosztatikus nyomáskezelést élelmiszerek tartósítására használjuk, egyáltalán nem újkeletű, azonban ipari méretekben történő alkalmazása meglehetősen újnak számít. A nagy hidrosztatikus nyomáskezelést (*high hydrostatic pressure*, HHP) eredetileg kerámiák, acél és szupravezető ötvözetek gyártásánál alkalmazták, azonban a XIX. század végén már az élelmiszeriparra is kiterjesztették, mikor Bert Holmes Hite kísérletezett a technológiával tej tartósítása céljából (HITE 1899).

Ezután közel 90 évnek kellett eltelnie ahhoz, hogy az élelmiszeripar ténylegesen adaptálja a HHP kezelést, mint potenciális élelmiszertartósító technológiát, amellyel mikrobiológiai és

táplálkozásélettani szempontból is megőrizhetők a különféle kiváló minőségű és hozzáadott értéket képviselő termékek. Az első nagy nyomással kezelt termékeket (különböző dzsemek, Meidi-Ya Food Company) a japán piacon mutatták be 1990-ben. Ezután a következő nagy sikerű áttörés 1997-ben a HHP kezelt guacamole bevezetése volt az Egyesült Államokban.

Egy relatíve rövid, körülbelül 30 éves időtartam alatt a HHP technológia átalakult a néhány kutatólaboratóriumban bizonyított koncepcióból egy megalapozott, működőképes tartósítási technológiává, amelyet több száz élelmiszerüzemben alkalmaznak. A HHP tartósítás ma már egy a kereskedelemben is teljesen életképes technológia olyan különféle eredetű termékek tartósítására felhasználva, mint a hús és húskészítmények, tenger gyümölcsei, tejtermékek, gyümölcsitalok, salátaöntetek, gyümölcsök és zöldségek, készételek, melyeket a fogyasztók szerte a világon élveznek (BARBA et al. 2015, HUANG et al. 2017, MISRA et al. 2017).

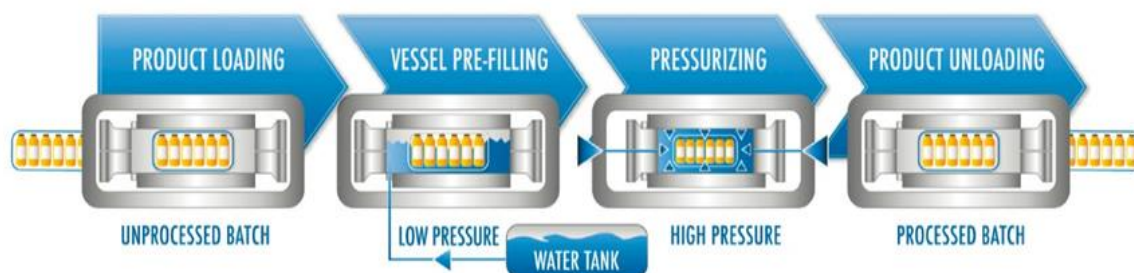
A HHP lehetőséget kínál kíméletesen feldolgozott, egészséges, kényelmi, friss megjelenésű, tartósítószer-mentes élelmiszerek előállítására, ezáltal az egészségtudatos életmód kielégítésére. A HHP kezelés során a termékben lévő mikroorganizmusok részben vagy teljesen inaktíválódnak, ezáltal a termék minőségmegőrzési ideje hosszabb lehet, miközben organoleptikus paraméterei nem, vagy csak kis mértékben változnak. Ellentétben a hagyományos hőkezeléssel, ahol nemkívánatos változások kísérik a tartósítást, a nagy hidrosztatikus nyomáskezelés jobban megőrizheti a szín- és aromaanyagokat, valamint a vitaminokat.

A HHP kezelés előnye, hogy a közvetítő folyadékba merített, hermetikusan és lehetőleg légtérmentesen zárt, flexibilis csomagolásban lévő élelmiszerben a hidrosztatikus nyomás a Pascal-elv szerint pillanatszerűen és az élelmiszer teljes tömegében egyenletesen (izo-sztatikusan) érvényesül, így a nyomáskezelés hatása más tartósítási módszerekkel ellentétben gyakorlatilag nem függ az élelmiszer méretétől vagy alakjától (MERMELSTEIN 1998), valamint így a különböző térfogatú élelmiszerek akár ugyanabban a tételben feldolgozhatók (4. ábra).

Ezenkívül, mivel az élelmiszerek csomagolt formában vannak, nem érintkeznek közvetlenül a feldolgozó eszközökkel és a nyomásközvetítő közeggel, megakadályozva az élelmiszerek pasztörözést követő utólagos vagy kereszt-szennyeződését. Ezenfelül a nyomásközvetítő közeg, mely az ipari gyakorlatban a legtöbbször víz, feldolgozás után újrahasznosítható (BALASUBRAMANIAM et al. 2015). Az alacsony energiafogyasztás és az alacsony szennyeződési kockázat előnyeivel a HHP technológia kifejezetten környezetbarát tartósítási technológiának számít (RASTOGI et al. 2007).

A HHP kezelés hatékonysága az alkalmazott nyomás szintjén túl (ipari alkalmazásban általában 100–600 MPa) függ a kezelési időtől, a kezelési hőmérséklettől (beleértve az adiabatikus melegedést is, mely általánosan 3 °C-os hőmérsékletemelkedést jelent 100 MPa-onkénti nyomásnövelés esetén), a nyomásfokozás és a nyomáselengedés sebességétől, az induló

termékhőmérséklettől, a kezelőtérben kialakuló hőmérsékleteloszlástól, a termék pH értékétől, összetételétől és vízaktivitásától (LUDIKHUYZE et al. 2001).



4. ábra A nagy hidrosztatikus nyomáskezelés (HHP) folyamatára: termékek kezelőtérbe helyezése, a kezelőtér feltöltése a nyomásközvetítő közeggel (víz), nyomáskezelés, a termékek kivétele

(Forrás: <https://blog.hiperbaric.com/en/hiperbaric-in-pack-high-pressure-processing>)

A jövőt illetően az alábbi kategóriákban látják a legnagyobb potenciált a HHP technológia alkalmazására (HIPERBARIC 2020a):

- Funkcionális italok, mint például a szénsavas italok, a Kombucha, a hidegen extrahált kávé és tea, hidegen préselt gyümölcsle
- Bébiétel kategória
- Készételek (RTE „ready to eat”), valamint tenger gyümölcsei RTE kategóriában alkalmazva
- Állateledel (PET Food)

2.2.1. A HHP hatása a szamóca bioaktív komponenseire

A bioaktív vegyületek HHP alatti stabilitásának/instabilitásának közvetlen következményeként az élelmiszerek különböző funkcionális tulajdonságai megváltozhatnak. Számos bioaktív vegyület, például vitaminok, flavonoidok és karotinoidok erős antioxidánsok. A leggyakrabban érintett tulajdonságok az antioxidáns aktivitás, a biológiai hozzáférhetőség és az élelmiszeripari termékek érzékszervi minősége (színe, állománya, íze).

A gyümölcsszín az alapvető meghatározója a piros bogyós gyümölcsök minőségének és az ezekből készült termékeknek, ami az antocianinok jelenlétének tulajdonítható. Az antocianinok közül a szamócában legfőképp a pelargonidin-3-glükózid és a cianidin-3-glükózid fordul elő (ZABETAKIS et al. 2000b).

A fenolok, és ezzel együtt természetesen az antocianinok is, meglehetősen rezisztensnek bizonyulnak HHP kezelésekkel szemben. PATRAS és munkatársai (2009b) megállapították, hogy

a 400, 500 és 600 MPa nyomáskezelés szobahőmérsékleten jól megőrizte a szamócapüré antocianin-tartalmát. A szamóca bioaktív összetétele 400–600 MPa nyomáson stabil, bár az antocianin-tartalom enyhe csökkenése, a flavanoid vegyületekkel való kölcsönhatások okán volt nagyobb nyomáson kimutatható (TIWARI et al. 2009b). CAO és munkatársai (2012) szignifikánsan nagyobb antocianin veszteséget figyeltek meg rostos szamócalében, mint a rostnélküliben 4°C-on, mely valószínűleg a rostos mátrix között megmaradó nagyobb oxigén koncentrációnak köszönhető, mely elősegíti az antocianinok degradációját.

Az is világos, hogy a HHP befolyásolja ezen bioaktív vegyületek stabilitását és extrakciós hozamait. Ennek következtében ezen bioaktív vegyületek antioxidáns aktivitására is hatással lesz. A nagy nyomás hatása a bioaktív vegyületek antioxidáns aktivitására a különféle élelmiszer-mátrixokban változatos.

Emellett PATRAS és munkatársai (2009b) megfigyelték, hogy a 600 MPa nagy nyomással kezelt szamócapürének szignifikánsan (9,8%, $p < 0,05$) nőtt az antocianin-tartalma (939,0 mg / 100 g) a kezeletlen püréhez képest (855,0 mg/kg). Hasonló trendet figyeltek meg fekete szeder polifenoltartalmát illetően is. Ez a növekedés az összfenoltartalomban valószínűleg az egyes antioxidáns komponensek nyomáskezelés után megnövekedett extrahálhatóságának köszönhető. CORRALES és munkatársai (2008b) megnövekedett összfenoltartalomról számoltak be szőlő esetében egyaránt HHP, ultrahang és PEF kezelés alkalmazása után. Bogyós gyümölcsöket vizsgáltak GARCIA-PALAZON és munkatársai (2004), ahol az alkalmazott 400, 500 és 600 MPa nyomáskezelés hatására az antocianin-tartalom magasabbnak bizonyult, mint a friss gyümölcsben. A paradicsom- és a sárgarépapüré antioxidáns kapacitása szignifikánsan magasabb volt nyomás alatt (500–600 MPa / 21 °C / 15 perc) a kezeletlen mintákhoz képest. A sárgarépapüré fenoltartalma szintén szignifikánsan magasabb értékeket mutatott a feldolgozatlan mintákhoz képest. A paradicsompüré fenoltartalmát ugyanakkor nem befolyásolta szignifikánsan (PATRAS et al. 2009a). Emellett más kutatók is megnövekedett extrahálhatóságról számoltak be színes pigmentek esetében nagy nyomással történő kezelés után (SÁNCHEZ-MORENO et al. 2005, PLAZA et al. 2003, PATRAS et al. 2008).

Korábbi vizsgálatok alapján (SALAMON 2010) megállapítható, hogy a 400 MPa és 600 MPa nyomáson kezelt szamócapürék megőrizték színtabilitásukat 2–3 héten keresztül, még 20 °C-os tárolás esetén is. A szakirodalomban más szerzők is az antocianin-tartalom tárolás során bekövetkező kezdetben gyors, majd fokozatosan lassuló tendenciát mutató csökkenéséről számolnak be (TAN 2011).

Legfőképp a polifenol-oxidáz és peroxidáz enzimek aktivitása felelős az antocianinok és más polifenolok degradációjáért, mely barnuláshoz és az antioxidáns aktivitás csökkenéséhez vezet. (CHISARI et al. 2007, LOPEZ-SERRANO, BARCELO 2002, TIWARI et al. 2009a). Az

enzimatis reakciók során általában barnás színű végtermékek keletkeznek, így a szamóca elveszti eredeti élénkpiros színezetét, és a fogyasztó ehhez a rosszabb minőséget társítja. Ezért oly fontos, hogy a tartósítás során működésképtelenné tegyük a szöveti enzimeket. A HHP alkalmazásával az inaktiváció történhet az intramolekuláris szerkezet módosulásával, illetve az enzim-szubsztrát kapcsolat vagy az enzim aktív centrumában bekövetkezett konformáció változás miatt. Azonban az enzimek regenerálódása is megtörténhet a kezelt termékek tárolása során. ZABETAKIS és munkatársai (2000) azt tapasztalták, hogy 200–800 MPa között és 18–22 °C tartományban a 15 perces kezelések után a pelargonidin-3-glükózid és a pelargonidin-3-rutinozid koncentrációjában nem történt változás. Azonban a kezelés típusától és a vizsgált antocianintól függően 20-60% veszteséget tapasztaltak 9 napos fagyasztott tárolás után. Ez a megmaradó polifenol-oxidáznak (PPO) és peroxidáznak (POD) volt tulajdonítható. A β -glükózidáz enzim specifikusa egy jelentős ok, hogy miért szelektíven degradálódnak az antocianinok a gyümölcsökben. Ugyancsak ZABETAKIS és munkatársai (2000) nagyobb mértékű csökkenést tapasztaltak a pelargonidin-3-glükózid mennyiségében a pelargonidin-3-rutinozidhoz képest ugyanolyan körülmények között HHP kezelt és tárolt szamóca esetében, mivel a β -glükózidáznak nagyobb az affinitása a glükóz irányába, mint a rutinóz felé. Hasonló eredményeket tapasztaltak szamócadzsem vizsgálatakor GIMEZEN és munkatársai (2001) is.

A termékek aromája, vagyis azok együttes ízének valamint illatának érzékszervi megnyilvánulása, közvetetten összefügg a bioaktív vegyületek élelmiszerekben tanúsított viselkedésével. A gyümölcsökben és zöldségekben található ízki alakító komponensek általában kis molekulás szerkezetű, illékony vagy nem illékony vegyületekből állnak, mint például aldehidek, észterek, savak, laktonok, ketonok, alkoholok, kéntartalmú vegyületek stb. Szerkezetüket a HHP kezelés közvetlenül nem befolyásolja, mert ezek döntően csak kovalens kötést tartalmazó molekulák (BALASUBRAMANIAM et al. 2016). Ezt mind kémiai, mind érzékszervi elemzéssel megfigyelték számos olyan tanulmányban, amelyekben szamócapürépüré (LAMBERT et al. 1999), mandarinlé (TAKAHASHI et al. 1993), narancs, citrom és sárgarépalé (FERNANDEZ GARCIA et al. 2001a), fehér szőlőlé (DAOUDI et al. 2002) és a guava juice (YEN, LIN 1999) volt nyomáskezelve 200 – 600 MPa nyomáson, környezeti hőmérsékleten.

A szamócában több, mint 350 különböző illékony komponenst azonosítottak (ZABETAKIS, HOLDEN 1997). Alapvetően a furanonok, észterek, aldehidek, alkoholok és kénvegyületek összetett keverékét tekintik felelősnek az eper ízéért (OEY et al. 2008).

Az aroma tekintetében ugyanakkor mégis nehéz megítélni, hogy a különböző termékekben a HHP kezelés által kiváltott egyéb változások miként befolyásolják a gyümölcsök és zöldségek illékony vegyületeit, ezáltal azok általános ízérzetét. A HHP kezelés közvetetten befolyásolja egyes enzimek aktivitását, amelyek olyan reakciókat képesek katalizálni melyben a bioaktív vegyületek

is részt vehetnek, ezáltal mellékíz képződést eredményezhetnek. Például a linol- és linolénsavat n-hexanállá oxidálhatják. Magas koncentrációban az n-hexanál felelős a zöldlevél, fű illatért a szamócában. Az n-hexanált képző reakciót a lipoxigenáz és a hidroperoxid-liáz katalizálja. NAVARRO és munkatársai (2002) gázkromatográfiás vizsgálatokkal megállapította, hogy a 400 MPa nyomáson történő HHP kezelés (környezeti hőmérsékleten / 20 perc) több mint kétszeresére növelte az eperpüré hexanál tartalmát. BUTZ és TAUSCHER (2000) 200 MPa-os kezelésig nem figyeltek meg változásokat a szamócapüré hexanál szintjében. 200 MPa feletti kezelés esetében azonban a hexanál szintje növekedett a nyomáskezelések szintjének fokozatos növelésével, valamint megfigyelték, hogy 25 °C-on kivitelezett kezelés esetében intenzívebben, mint 40 °C-on történő kezelés esetén. Ezzel szemben a 60 °C felett kivitelezett nyomáskezelés nem okozott változásokat a hexanál szintjében, a lipoxigenáz inaktiválása miatt.

2.2.2. A HHP hatása a mikroorganizmusokra és az eltarthatóságra

A szamóca felszínén számos különböző baktérium, valamint penész-és élesztőgomba található, melyek eliminálása szükséges a feldolgozás során a megfelelő eltarthatósági idő biztosításához. A mikroorganizmusok jelenléte, fajtája (diverzitása) és száma olyan paraméterektől függ, mint az agronómiai gyakorlat (mezőgazdasági technológia), a földrajz, az időjárás, a betakarítás, a szállítás, valamint a további kezelés és feldolgozás (RAMOS et al. 2013). Korábbi tanulmányok szerint a *Pseudomonas*, a *Stenotrophomonas*, a *Bacillus* és az *Arthrobacter* fajok domináns epifitikus baktériumok az epernövényeken, beleértve a leveleket és a virágokat is (KRIMM et al. 2005). HASHMI (2013), illetve TOURNAS és KATSODAS (2005) azonosította, hogy a *Botrytis cinerea* és *Rhizopus stolonifera* az eper fő romlást okozó mikroorganizmusai közé tartoznak. A *B. cinerea*-t különböző éghajlaton termesztett eprekben azonosították, például Németországban (LEROCH et al. 2013), Törökországban (ILHAN, KARABULUT 2013) és Braziliában (COSTA et al. 2013). Az *Alternaria alternata* a *B. cinerea*-val együtt az eperben a legelterjedtebb penész, amely a szüret utáni fekete rothadásért felelős toxint termel (ZHANG et al. 2015). WEI és munkatársai (2017) egyéb gombafajokat azonosítottak a szamóca felszínén a legfőbb romlást okozóként, ezek közé tartoznak a *Mucor fragilis*, a *Mucor circinelloides*, a *Mucor racemosus*, a *Rhizomucor variabilis* és a *Penicillium spp.* Ezenkívül a szamóca felszínén megtalálható még több élesztőről és baktériumról is beszámoltak. JENSEN és munkatársai (2013) 22 élesztőfajt azonosított 9 nemzetségből, amelyek közül a *Candida*, *Cryptococcus* és *Rhodotorula* nemzetségek fajai voltak dominánsak.

Számos tanulmány azonban kimutatta a HHP kezelés antimikrobiális potenciálját szamócatermékek eltarthatóságának biztosítására. Például MARSZALEK és munkatársai (2015)

bemutatták, hogy az 500 MPa-os HHP kezelés hogyan csökkentette az eperpürében lévő élesztők és penészek telepképző egységeinek számát 4,6 és 3,8 lg TKE/g-ról kevesebb, mint 1 lg TKE/g-ra mind a 0, mind az 50 °C-os kezelések során. Ugyanebben a vizsgálatban a 200 MPa-on végzett kezelés alacsonyabb élesztő- és penészszámot eredményezett, 2,6 és 0,5 lg TKE/g csökkenéssel. HSU és munkatársai (2014) eredményei alapján az *Escherichia coli* O157:H7 telepszám 5 nagyságrendnél nagyobb csökkenést mutatott, miután eperpürét 250 és 350 MPa nyomáson 5–30 percig 10 °C-on kezeltek. Ilyen körülmények között az *E. coli* O157: H7 száma a kimutatási határ alatt volt (1,5 lg TKE/g). Hasonló eredményeket értek el HUANG és munkatársai (2013), akik eliminálták az *E. coli* O157: H7 és *Salmonella spp.* eperpüréből 450 MPa nyomáson végzett tartósítás után, 2 percig 21 °C-on.

Korábbi kutatásaim során (SALAMON 2010), valamint a szakirodalmi adatok alapján is (DALMADI 2009) 15 °C-os tárolási hőmérsékleten 14 napig még eltarthatóak a szamócapüre minták elkerülve a mikrobiális romlást, azonban már megjelenhetnek a minőséget befolyásoló egyéb változások, mint pl. elszíneződés vagy gázképződés.

A nagy hidrosztatikus nyomáskezeléssel szembeni mikrobiológiai ellenállás nagymértékben függ azonban a mikroorganizmus fajtájától, és ugyanazon faj törzsei között is eltéréseket tapasztalhatunk. Korábbi kutatásokban megállapították, hogy a baktériumok sokkal nagyobb ellenálló képességgel rendelkeznek a HHP kezelésekkel szemben, mint az élesztők és a penészgombák (MARSZALEK et al. 2017) valamint a spórák a legellenállóbbak (YORDANOV, ANGELOVA 2010). A Gram-pozitív baktériumok ellenállóbbak a Gram-negatívaknál, melynek oka utóbbiak komplex membránszerkezetében rejlik (SHIGEHISA et al. 1991). A növekedés exponenciális szakaszában lévő sejtek jóval érzékenyebbek, mint a stacioner fázisban lévők. A baktérium spórák számítanak a legellenállóbbnak, inaktiválásuk még 1000 MPa-os kezelés esetén sem mondható teljesnek. Ugyanakkor egy enyhe hőkezelés elősegíti a baktériumspórák kicsírázását, így érzékenységük növelhető (EARNSHAW 1995). Nyomáskezeléssel kombinált hőkezelés sikeresen csökkentette a *Clostridium sporogenes* spórák számát élelmiszerben (CRAWFORD et al. 1996). Ez a megfigyelés a HHP technológia és a kíméletes hőkezelés kombinációt ígéretek teszik.

Bizonyították, hogy a szénhidrátok, lipidek és fehérjék jelenléte növeli a jelenlévő mikroorganizmusok ellenállását a nyomáskezeléssel szemben (LECHOWICH 1993). A vegetatív mikroorganizmusok inaktiválása HHP kezeléssel gyümölcsök, illetve gyümölcstermékek esetén az alacsony pH miatt igen hatékonyan bizonyult. A pH érték csökkenésével a mikroba érzékenyebbé válik a kezeléssel szemben (LINTON et al. 1999). Azonban a jelenlévő szerves vegyületek egyfajta védő szerepet is biztosítanak számukra a túlélésben. A mikroorganizmusok nagyobb inaktiválását figyelték meg a pufferekben, mint egy azonos pH-értékű élelmiszer-

mátrixban (TAHIRI et al., 2006, SOKOŁOWSKA et al. 2014). Az alacsony vízaktivitás ($< 0,95$) szintén csökkenti a nagy nyomású technológia hatékonyságát. Ha nagyobb az oldható szárazanyag-tartalom a gyümölcslevegekben, az pozitív hatással van a mikrobiológiai túlélésre, jelezve a cukrok baroprotektív hatását (SOKOŁOWSKA et al. 2013).

Általánosságban elmondható, hogy a pasztörizáláshoz rövid ideig tartó 300–600 MPa-os kezelés, míg sterilizáláshoz ettől magasabb nyomás és magas hőmérséklet szükséges, amely a baktérium endospórák elpusztításához vezet. Az élesztőgombák és a penészgombák a nyomáskezelésre leginkább érzékeny mikroorganizmusok. Inaktiválásukat 200 és 400 MPa közötti nyomás alkalmazásával érik el (HSU et al. 2008, LIU et al. 2013, GEORGET et al. 2015, HURTADO et al. 2017). A legtöbb élesztő 300–400 MPa-on és 25 °C-on már inaktiválódik, ugyanakkor az aszkospórái ennél nagyobb ellenállást mutatnak. A penészek nyomásellenállása nem különbözik az élesztőktől (SMELT 1998).

A mérsékelt hő és nyomás kombinációja azonban drasztikusan javíthatja a hatékonyságot hőálló aszkospórákkal szemben a magas savtartalmú gyümölcsstermékekben a hőkezeléshez képest, ami jobb termékminőséget eredményezhet. Hőkezelés (maximum 85–90 °C) és nagy nyomás (500–700 MPa) kombinációja 13 perces tartási időnél sokkal gyorsabban inaktiválta ezeket a rendkívül ellenálló spórákat, mint önmagában a hőkezelés (TIMMERMANS et al. 2020).

Más szerzők a nagy nyomás mérsékelt, 50–75 °C közötti hőmérsékleten történő alkalmazásának kombinációját vizsgálták a hőálló aszkospórák inaktiválásának tanulmányozására. A *Neosartorya fischeri* és a *Byssochlamys nivea* (jelenleg *Aspergillus fischeri*, illetve *Paecilomyces niveus* néven ismert) aszkospórák 4 hetes tenyészei 3,3 lg TKE/g és 1,4 lg TKE/g csökkenést mutattak a legintenzívebb kezelést követően (600 MPa-os nyomáskezelés 75 °C hőmérsékleten 10 percig), míg termikus referencia értéken 75 °C-on 30 perces kezelés mellett nem figyeltek meg inaktiválást (EVELYN, SILVA 2015, EVELYN et al. 2016).

A kórokozó baktériumok mellett a vírusok is nagy gondot jelentenek a friss és a feldolgozott szamócában. A HHP azonban képes lehet eliminálni a vírusokat azáltal, hogy károsítja a vírus burkát, megakadályozva kötődésüket a sejtekben, vagy akár a vírus részecskék teljes disszociációjával (CONSIDINE et al. 2008).

HUANG és munkatársai (2014) nemrégiben azt tapasztalta, hogy eperpürében a HHP hatékonyan inaktiválja az MNV-1 norovírust. Tanulmányukban az MNV-1 száraz körülmények között nagyon ellenálló volt a nyomással szemben, de nedves körülmények között érzékeny lett a nyomásra (LAFARGA et al. 2019).

2.2.3. A HHP kezelt szamócában található enzimek és a tárolás során bekövetkező változások összefüggései

A HHP technológia alkalmazásának legnagyobb kihívása a gyümölcs és zöldség alapú termékek eltarthatóságának meghosszabbítása az endogén enzimek szabályozásával, amelyek általában nagyobb nyomásállóságot mutatnak, mint a mikroorganizmusok (BARBA et al. 2012a, BARBA et al. 2014, TEREFE, BUCKOW 2017) és melyek működése a tárolás során változásokat okozhat (CHACRABORTY et al. 2014).

Az enzimek, például a polifenol-oxidáz (PPO), a peroxidáz (POD) és a β -glükozidáz (β -GLC) elsősorban a polifenolok és az ízanyagok lebontásáért felelősek, míg a pektin-metil-észteráz (PME) és a poligalakturonáz (PG) felelősek az állományban bekövetkező változásokért. Ezek az enzimek nagyon ellenállóak a nyomáskezeléssel szemben, és csak részben inaktiválódnak kereskedelmi HHP körülmények között. TEREFE és munkatársai (2013) 600 MPa / 5 perces szobahőmérsékletű nyomáskezelést követően csak 15-38% PPO illetve 20-33% POD inaktiválást tapasztaltak, míg ezeknek az enzimeknek az inaktivációja majdnem teljes volt 88 °C-os 2 perces hőkezelést követően szamócapürében.

A feldolgozás során a sejtek szerkezete megbomlik, és a bogyók tápanyagai és egyéb alkotóelemei hajlamosak az enzimatis és nem enzimatis oxidációra (TEREFE et al. 2014).

Az enzimek nem teljes inaktiválása hatással lesz a kémiai alkotóelemek stabilitására és ezáltal a bogyós termékek minőségére a tárolás során. A PPO, amelyről korábban kimutatták, hogy a szamócában található leginkább nyomás rezisztens és kedvezőtlen hatású enzim (CANO et al. 1997, CHISARI et al. 2007, TEREFE et al. 2014, TEREFE et al. 2010), negatívan befolyásolja a polifenolokat és a szamócatermékek színét.

A PPO és a POD azok a fő enzimek, amelyek részt vesznek a növényi szövetek enzimatis barnulásában. A PPO-k réztartalmú izoenzimek, amelyek felelősek a monofenolok o-difenollá történő hidroxilezéséért (monofenol-oxidáz által) és a difenolok kinonokká történő oxidációjáért (difenol-oxidáz által), amelyek fehérjék jelenlétében komplex barna pigmenteket képeznek. (GONG et al. 2015, MARTINEZ, WHITAKER 1995). A POD egy „b” típusú hemet hordoz prosztetikus csoportként, és redox enzimként számos növényi anyagcsere folyamatban vesz részt, például az auxinek katabolizmusában, a sejtfa lignifikációjában, valamint barnulási reakciókban, amelyek olyan termékeket eredményeznek, amelyek részt vesznek különféle elektrondonorok H_2O_2 -val történő oxidációjában (MARSZALEK et al. 2017).

A HHP szamócára gyakorolt hatásának kutatása érdekében végzett vizsgálatok úgymint az enzimek inaktiválására, a kémiai összetételre és a minőségre, elsősorban közvetlenül a feldolgozás utáni állapotra koncentráltak (CAO et al. 2012, CAO et al. 2014, CAO et al. 2011, MARSZALEK

et al. 2015, PATRAS et al. 2009b, SULAIMAN, SILVA 2013, ZABETAKIS et al. 2000b), vagyis hogy milyen változások mentek végbe közvetlenül a kezelések során. Azonban a bogyós gyümölcsökből készült termékekben a tárolás során bekövetkező változások gyakran intenzívebbek és súlyosabbak, mint a feldolgozás során bekövetkező veszteségek (AABY et al. 2007, HOLZWARTH et al. 2012, HOWARD et al. 2014, HOWARD et al. 2012).

A HHP kezelés ipari alkalmazása során a legmagasabb alkalmazott kezelési szint 600 MPa. Az ilyen szintű nyomás elegendő az élelmiszerek mikrobiológiai biztonságának biztosításához 1–3 hónapos hűtőtárolás esetén, de a gyümölcs- és zöldségalapú termékekben található számos barorezisztens enzim életben maradhat, vagy aktivitása akár fokozódhat is. Az alacsony szintű (100–300 MPa) nyomáskezelések javíthatják az egyes enzimek aktivitását és stabilitását, míg a szélsőséges (800–1000 MPa) szintű kezelések enzim denaturációt indukálnak. GARCIA-PALAZON és munkatársai (2004) kutatása alapján a PPO enzimek teljes inaktivációja következett be 800 MPa / 22 °C / 10 perces nyomáskezelést követően. A gyümölcsökből és zöldségekből készült termékekben az enzimek szobahőmérsékleten történő inaktiválása lehetséges, de az ipari alkalmazásokban elérhető értékeket meghaladó nyomással. Az alacsonyabb nyomás alkalmazása kompenzálható a folyamat hosszabb időtartamával, ami azonban jelentősen csökkentheti a kezelés hatékonyságát (MARSZAŁEK et al. 2019).

Magas szintű nyomáskezelés (600–1000 MPa) alkalmazása kíméletes hőkezeléssel (50–60 °C) kombinálva azonban már inaktiválhatja az enzimeket, így a jobb táplálkozásbiológiai és érzékszervi tulajdonságokkal rendelkező termékeket hosszabb ideig tudjuk tárolni és a tárolás alatt is megőrizni kedvező tulajdonságait (MARSZAŁEK et al. 2017). CAO és munkatársai (2011) érdekes módon a HHP kezelést (600 MPa) megelőző blansírozást (100 °C, 1 perc) követően nem találtak maradék PPO enzimaktivitást. TEREFE és munkatársai (2009) 600 MPa / 60 °C / 10 perces kombinált kezelést követően 58%-os POD inaktiválásról számoltak be

Bár számos tanulmány jelent meg, amelyek a HHP kezelés mikrobákra és enzimekre gyakorolt hatásairól számolnak be - a minőségmegőrzés mellett - (MATSER et al. 2004, SEVENICH et al. 2014), ennek ellenére még sok folyamat nem ismert teljes mértékben. Az ipari alkalmazáshoz még számos további vizsgálat szükségeltetik.

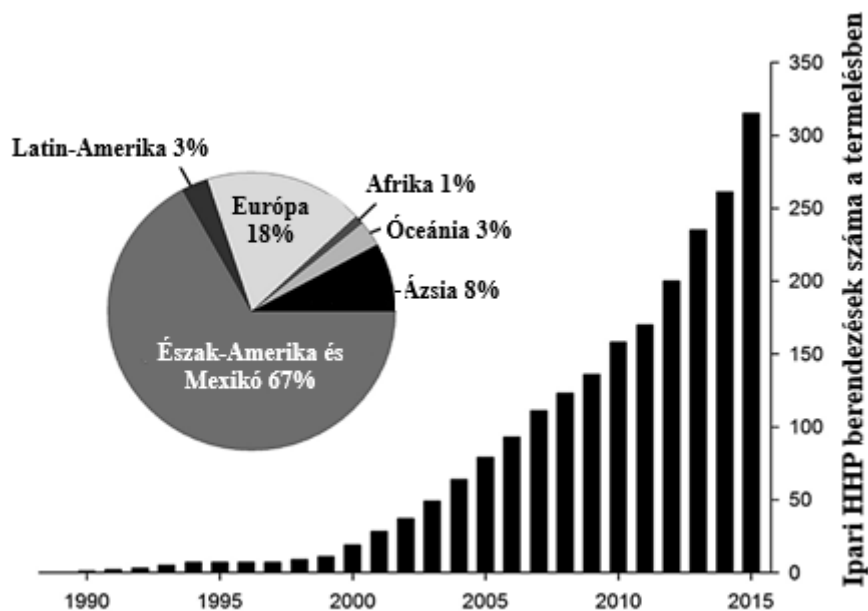
2.3. A HHP technológia ipari alkalmazásának jelenlegi helyzete

A nagy hidrosztatikus nyomáskezelés (HHP) a legsikeresebb kereskedelmi forgalomban is alkalmazott nem-termikus tartósítási technológia (FARKAS 2016). Az elmúlt években a HHP berendezések fokozatos elterjedése a HHP technológia fejlődésének kulcsfontosságú tényezőjévé

vált. Világszerte egyre több berendezésgyártó foglalkozik a HHP berendezések kutatásával, fejlesztésével és gyártásával, ami fejlettebb berendezésgyártási technológiához, folyamatosan javuló gyártási teljesítményhez és hosszú távú, stabil működéshez vezet.

A piaci részesedés legnagyobb részével rendelkező Avure és Hiperbaric vállalatok 525 liter űrtartalmú kezelőtérrel rendelkező berendezéseket fejlesztettek (BALASUBRAMANIAM et al. 2008). Az elmúlt években a HHP berendezések számának gyarapodásával és azok fokozatos fejlődésével az Amerikai Egyesült Államokban, Spanyolországban, az Egyesült Királyságban, Japánban és Kínában számos gyártó fejlesztette a HHP berendezések gyártásának kapacitását. A legnagyobb globális gyártók közé tartozik az Avure (Middletown, OH, USA), a Hiperbaric (Burgos, Spanyolország) és a Multivac (Németország, korábban Uhde High Pressure Technologies, 2011-ben egyesült a Multivac-kal); a legnagyobb gyártó Kínában a Baotou Kefa High Pressure Technology Co., Ltd. (Baotou, Kína). A világ legnagyobb gyártója a Hiperbaric, piaci részesedése meghaladja az 50%-ot.

A HHP berendezések két típusra oszthatók, a vízszintes és a függőleges típusra. A kereskedelmi forgalomban alkalmazott legtöbb berendezés vízszintes típusú, hogy megkönnyítse a konténerek be- és kirakodását a gyártósoron. 2015-ben világszerte több, mint 300 ipari méretű HHP berendezés üzemelt (5. ábra), a legtöbb Észak-Amerikában (67%), Európában (18%), és Ázsiában (8%).



5. ábra A HHP berendezések számának növekedése világszerte az élelmiszeriparban (NC HYPERBARIC 2015 nyomán)

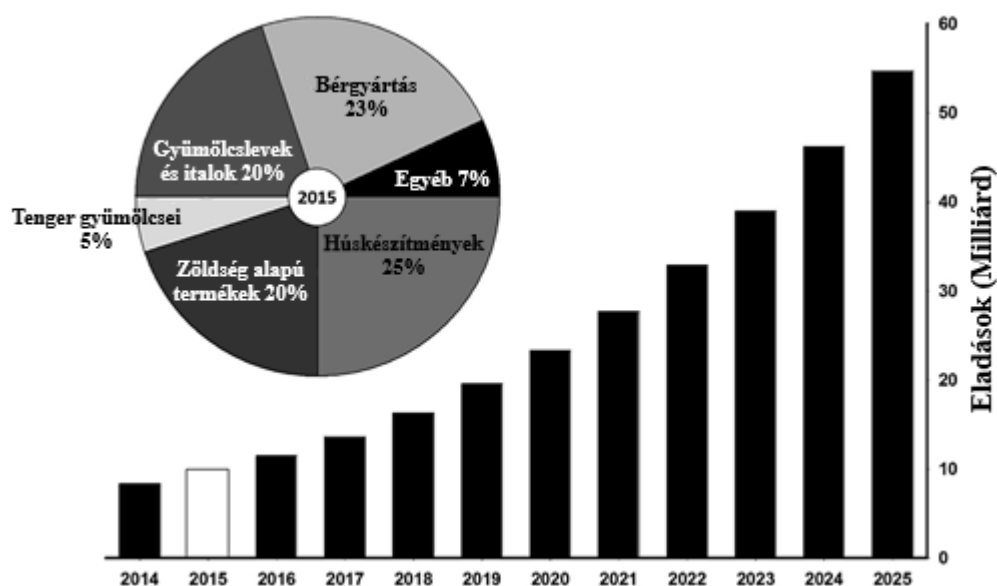
2017-re az ipari alkalmazásban használt HHP berendezések száma elérte a 422-t. Ebből is látszik, hogy a világszerte installált ipari HHP berendezések számának növekedése jelentős mértékben

fejlődik. Megoszlás szerint továbbra is főként Észak-Amerikában és Mexikóban (54%), Európában (25%), Ázsiában (12%) és Óceániában (6%) (HUANG et al. 2017).

A Hiperbaric 2020 június 23-i bejelentése szerint megállapodott 300. gépének telepítésében a mexikói avokádóipar egyik legfontosabb vezetőjével, a Calavo Growersszel. Ezzel a mérföldkövel, és több, mint 20 éves tapasztalattal, specializációval és innovációval a Hiperbaric a HHP technológia globális vezetőjeként konszolidálódik, világszerte több, mint 60% -os piaci részesedéssel. Ezek alapján arra lehet következtetni, hogy 2020-ban már kb. 500 installált iparban alkalmazott HHP berendezés állít elő és értékesít nagy hidrosztatikus nyomással kezelt termékeket világszerte (HIPERBARIC 2020b).

A HHP technológiát széles körben alkalmazzák húskészítmények, tejtermékek, tenger gyümölcsei, zöldség- és gyümölcstermékek, valamint különféle italtermékek gyártásában. A HHP ugyanis hasznos volt a különböző típusú élelmiszerek eltarthatóságának meghosszabbítására azáltal, hogy növelte azok biztonságát (ORLIEN 2017).

A HHP-élelmiszerek globális piaca 2015-ben megközelítette a 9,8 milliárd dollárt, és várhatóan 2025-ben 54,77 milliárd dolláros piaci értéket fog elérni (6. ábra).

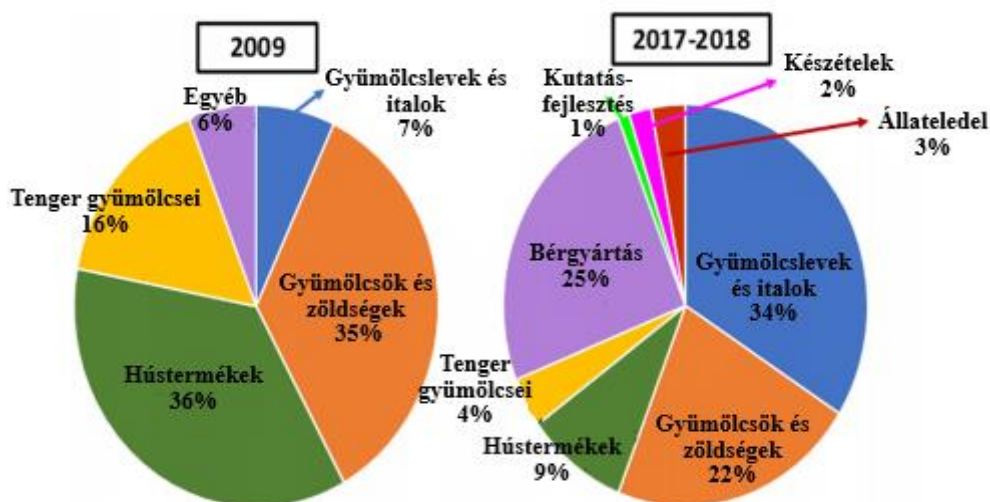


6. ábra A globális HHP élelmiszerek piaci részesedés 2015-ben és előrejelzése 2025-ig (VISIONGAIN 2015 nyomán).

Észak-Amerika a legnagyobb piaca a HHP-nek, azonban 2018-ban az európai piac is drasztikusan növekedett 2017-hez képest, melyet Ázsia, Latin-Amerika, Óceánia és Afrika követett. A jövőben a leginkább növekvő piacot várhatóan Ázsia fogja jelenteni (HIPERBARIC 2019a).

A 7. ábra grafikonjai szemléltetik, hogy 2009 és 2017 között hogyan változott meg a világszerte HHP-kezeléssel előállított termékek élelmiszer kategóriánkénti megoszlása. Amint az látható, a

húskészítmények és a tenger gyümölcsei kategóriákban előállított termékek mennyisége kisebb mértékben növekedett, mint a gyümölcs és zöldség alapú termékek kategóriái, különösen a gyümölcslevek és italok aránya növekedett a leginkább 7%-ról 34%-os részesedésre (GÓMEZ et al. 2021).



7. ábra A HHP kezeléssel tartósított élelmiszerkategóriák mennyiségi megoszlásának változása 2009 és 2017 között (GÓMEZ et al. 2021 nyomán)

A friss, természetes és biztonságos HHP gyümölcs és zöldséglevek a fogyasztók széles körében elfogadottak. A HHP technológiát az USA, Európa és Kanada kormányzati hatóságai jóváhagyták a gyümölcslevekben és a frissen vágott, szeletelt gyümölcsökben előforduló kórokozók csökkentésére, valamint a termékek eltarthatóságának több, mint háromszoros meghosszabbítása érdekében (HUANG et al. 2017).

Emellett ami igen érdekes, hogy már a HHP-kezeléssel tartósított készételek, valamint állateledel mennyisége külön-külön is több százalékos mennyiséget tesz ki.

Bár a HHP technológiát az 1990-es évek óta alkalmazzák ipari méretekben élelmiszerek előállítására, a telepített ipari méretű berendezések száma nem túl magas, mivel csak kevés vállalkozás támogatja és engedheti meg a relatíve nagy kezdeti tőkebefektetést, mely egy beruházáshoz szükséges. Ez az oka, hogy a kis méretű élelmiszer-feldolgozók nem képesek bevezetni a HHP technológiát. Ennek eredményeként a fő HHP berendezés gyártók úgy döntöttek, hogy inkább a szolgáltatásaikat, nem pedig berendezéseiket forgalmazzák azáltal, hogy díjfizetési/bérleti rendszert kínálnak a kis élelmiszer-feldolgozók számára annak érdekében, hogy egy adott kezelést alkalmazhassanak élelmiszertermékeikre anélkül, hogy egy teljes HP egységet kellene megvásárolniuk (ELAMIN et al. 2015). A bér szolgáltatások (Tolling services) arányának növekedését a 7. ábra is alátámasztja, mely szerint az összes HHP technológiával kezelt terméken belül 6%-ról 25%-ra növekedett az arányuk azoknak a termékeknek, amiket ilyen rendszerben

kezelték. Elterjedésük és népszerűségüket jól szemlélteti, hogy a termékek számos esetben rendelkeznek külön logóval, jelzéssel (8. ábra).



8. ábra: A HHP kezeléssel tartósított élelmiszer logója (GÓMEZ et al. 2021)

2.4. A HHP technológia alkalmazásának korlátai a minőségmegőrzés tekintetében

Az élelmiszerek tartósításának alapvető célja az eltarthatósági idő növelése, miközben arra törekszünk, hogy a kezdeti érzékszervi és táplálkozási tulajdonságokat minél inkább megőrizzük, valamint mikrobiológiailag is biztonságos terméket állítsunk elő (OEY et al. 2008). Általában a hagyományos, termikus úton történő tartósítás negatív hatással van a minőségi paraméterekre, beleértve az értékes komponensek mennyiségét is (TADAPANENI et al. 2014).

A kíméletes tartósítás célja a minél frissebb, ízletesebb, színesebb és tápanyagokban gazdag termékek előállítása. Ilyen technológiák például a HHP, pulzáló elektromos térerő (PEF), UV-fény vagy pulzáló fény, ultrahang vagy mikrohullámú melegítés alkalmazása (TADAPANENI et al. 2015). A kíméletes kezelésekkel minimalizálható a tápanyagok és bioaktív anyagok vesztesége. Ezenkívül az érzékszervi tulajdonságok is javíthatók, ami az élelmiszeriparban különösen fontos szempont.

Azonban köztudott, hogy a kíméletes élelmiszertartósítási technológiák a legtöbb esetben nem követik az elsőrendű kinetikát sem a mikrobiális, sem az enzimátikus inaktiválás szempontjából. Több évet szenteltek új matematikai modellek megtalálásának, amelyek illeszkednek a túlélési görbékhez, és képesek előre jelezni az inaktiválási trendeket az új technológiák alkalmazása esetén. A nagy hidrosztatikus nyomáskezelés a minőségmegőrzés szempontjából hatékonynak nevezhető, a késztermék minősége nagymértékben hasonlít a kiindulási nyersanyagok minőségére, a termék a kezelés hatására nem veszít számottevően a frissességéből. Bizonyos

mikroorganizmusokra és enzimekre azonban szelektíven hat, így önmagában nem elegendő. Korábbi kutatások kimutatták, hogy egyes endogén enzimek nyomás-rezisztens tulajdonságokat mutatnak, másokat pedig a nyomás még inkább aktivál. Ilyenek például a pektinmetil-észteráz, polifenol-oxidáz és peroxidáz enzimek, melyek működése felelős lehet az állománybeli változásokért, a beltartalmi jellemzők és a színanyagok csökkenéséért (GAO et al. 2016).

Ezenfelül a tárolás során szintén számos probléma jelentkezhet, mint az elszíneződés, organoleptikus tulajdonságok változása, mely az egyes enzimek elégtelen eliminálásából fakadhat. Ilyen hiányosságra, problémára mutattak rá szilvapüré nagy hidrosztatikus kezelése során, ahol ugyan a HHP kezelés megőrizte a szilvapüré bioaktív vegyületeinek kezdeti szintjét, azonban a barnulásért felelős enzimek, például a polifenol-oxidáz (PPO) gyenge inaktiválása korlátozhatja a szilvapürek eltarthatóságát hűtve történő tároláskor. Ezt a hatást élelmiszer-adalékanyagok, például aszkorbinsav hozzáadásával lehet legyőzni, de ez manapság ellentmond a fogyasztók igényeinek (GONZÁLEZ-CEBRINO et al. 2013). Valamint a gyümölcsök alacsony pH-értéke kissé meghosszabbíthatja eltarthatóságát, de általában a HHP-ben tartósított élelmiszerek hűtőtárolást igényelnek a romlás elkerülése érdekében (TRIBST et al. 2009, BARBA et al. 2012b). Annak ellenére, hogy ennek a kíméletes tartósítási technológiának is van néhány korlátja, a kezelések hatékonyságának növelésének egyik lehetséges módja az, ha más kíméletes kezelésekkel kombináltan alkalmazzuk, ezáltal szinergens vagy additív hatások érhetők el.

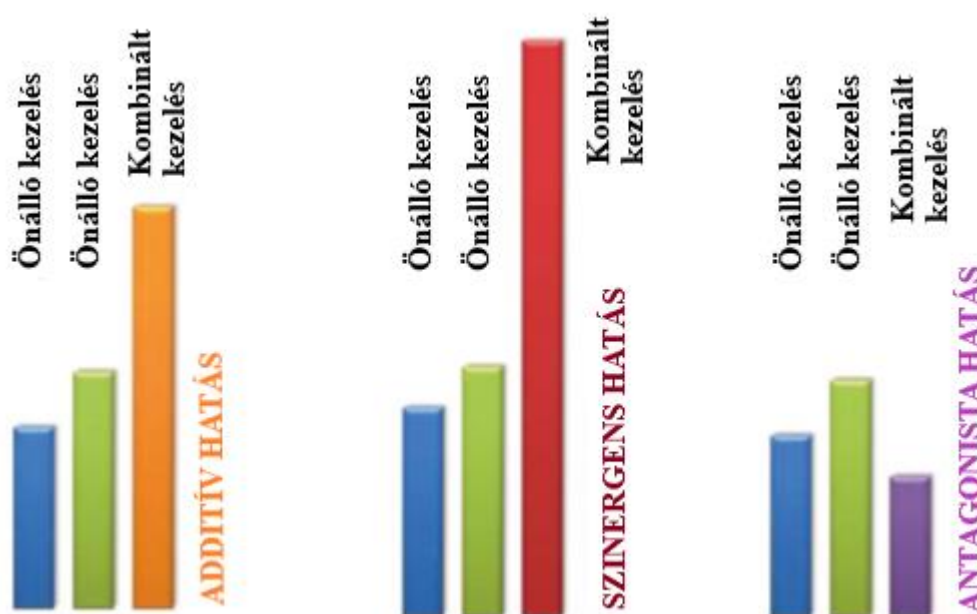
2.5. A HHP technológia kombinált alkalmazási lehetőségei

A fogyasztók igényeinek természetes élelmiszerekkel történő kielégítésére, amely magában foglalja az élelmiszerek frissességét, stabilitását, biztonságát, ízét és megfizethetőségét is, az élelmiszeripar különböző technológiák és antimikrobiális anyagok kombinációját alkalmazza az élelmiszeripari termékek tartósítására. A többféle technológia kombinációjával a „gátelmélet” módszerét (LEISTNER 1992) alkalmazva visszaszorítható a mikrobák szaporodása, miközben csökkenthetőek az egyes tartósítási technológiák intenzitása, a kémiai adalékanyagok szükségessége, valamint az élelmiszeripari termékek kiindulási érzékszervi tulajdonságaira és tápanyagtartalmára gyakorolt káros hatások (HUANG et al. 2020).

Az előző fejezetben kifejtett okokból fakadóan így a legfrissebb kutatások során a kíméletes tartósítási technológiákat egymással különböző kombinációban alkalmazzák a hatékonyabb eredmények eléréséhez (MARSZALEK et al 2017).

A különböző kíméletes technológiák kombinációjának kiválasztására azonban különös figyelmet kell fordítani, mivel két vagy több technológia együttes használata nem minden esetben jár pozitív

hatással. Ezen tényezők kombinációja néha szinergens, additív, semleges vagy antagonistá hatást fejt ki (9. ábra).



9. ábra Példa additív, szinergens és antagonistá hatásra gátelmélet technikával (BALASUBRAMANIAM et al. 2016 nyomán)

A HHP és az addíciós akadályok kombinációja szinergensen hathat a mikroorganizmusok inaktiválására, például az alacsony pH-érték növelheti a HHP inaktiválási hatékonyságát a saláták patogén baktériumai ellen (QUEIRÓS et al. 2019). Az elmúlt években a HHP-val kombinálva vizsgálták a szén-dioxidot, természetes vegyületeket, mint például a bakteriocineket, valamint az ozmotikus dehidrációt. Ezenkívül több, újonnan megjelenő technológiával, például ohmikus melegítéssel vagy pulzáló elektromos térrel való kombinációját is tesztelték (BALASUBRAMANIAM et al. 2016). Számottevő figyelmet érdemel azonban a nagy hidrosztatikus nyomáskezelés kíméletes hőkezeléssel történő kombinációja (High pressure Thermal Processing, HPT) (GARCÍA-PARRA, RAMÍREZ 2018).

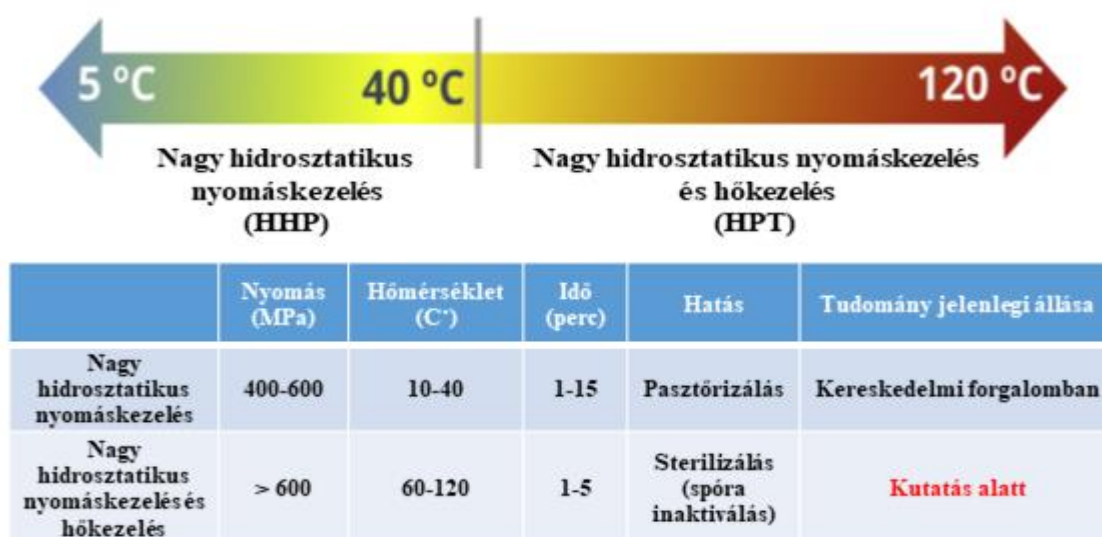
Önmagában a kíméletes hőkezelés sem elegendő minden mikroorganizmus és aktív enzim inaktiválásához, illetve a hőmérséklet emelésével fennáll annak a veszélye, hogy az értékes bioaktív komponensek sérülnek.

2.6. A HHP kíméletes hőkezeléssel kombináltan történő alkalmazása (HPT)

A nagy hidrosztatikus nyomáskezelés és a kíméletes hőkezelés együttes alkalmazásával a tárolási idő során is elkerülhető, hogy a termékek táplálkozásbiológiai értéke vagy érzékszervi illetve

egyéb minőségi jellemzői számottevően változzanak. Számos kutatás számol be a különböző kombinált eljárások sikeréről.

A HPT kezelések számos előnyt kínálnak, mint például a mikroorganizmusok gyors inaktivációja, a termék hőmérsékletének a termék minden pontján egyenletes, gyors emelkedése és csökkenése, csökkent hőhatás és tartósítási idő, valamint a feldolgozott élelmiszerek eltarthatóságának meghosszabbítása (SUBRAMANIAN et al. 2006).



10. ábra A HHP és a HPT kezelések közti különbségek (GARCÍA-PARRA, RAMÍREZ 2019 nyomán)

A 10. ábra szemlélteti az alapvető jellemzőit a HHP és a HPT kezeléseknek. Látható, hogy a HPT kezelések alapvetően magasabb hőmérséklettartományban kerülnek kivitelezésre, szemben a HHP-vel. A HPT jelenleg még nem alkalmazott technológiai a kereskedelmi forgalomban.

A HPT kezelések alkalmazása ígéretesnek bizonyul a magas savtartalmú élelmiszerekben, mint például a szilva, mivel a PPO-enzim aktivitásának szignifikáns csökkenését sikerült elérni (GARCÍA-PARRA et al. 2014), szemben az önmagában kivitelezett HHP kezeléssel (GONZÁLEZ-CEBRINO et al. 2013).

A HPT kezelés annak ellenére, hogy intenzívebb a kezelés, kedvezően megőrizte a szilva bioaktív vegyületeit, mint az antocianinokat és más antioxidáns hatású vegyületeket adalékanyagok alkalmazása nélkül (GARCÍA-PARRA et al. 2014).

A HPT kezelések megfelelőek az alacsony savtartalmú termékek, például a sütőtök eltarthatóságának növeléséhez is. Az olyan termékekben, mint a sütőtök, a HPT kezelések szintén nagyon hatékonyak a bioaktív vegyületek megőrzésében, akár még növelésében is, mivel növelik a karotinoidok és fenolos vegyületek extrahálhatóságát, ami növeli biológiai hozzáférhetőségüket (GARCÍA-PARRA et al. 2014).

2.6.1. A HPT kezelések hatása a szamóca bioaktív komponenseire és érzékszervi jellemzőire

MARSZALEK és munkatársai (2015) szamócapüré minták vizsgálata során megállapították, hogy a fenolsavak, a flavonok, a polifenolok, az antocianinok és a C-vitamin, valamint a minták színe és íze nagyobb mértékben függ a hőkezelés mértékétől, mint a nyomás, vagy az idő paramétereiktől a kezeléseik során. Az együttes kezelés a káros enzimek tekintetében 15 perc után volt hatásos. Kutatásaik szerint figyelembe véve a mikrobiológiai eredményeket és az inaktivált enzimek mértékét, a leghatásosabb kezelési értékek 500 MPa és 50 °C körülire tehetők. Enyhébb körülmények alkalmazása azt eredményezte, hogy romlott a késztermék érzékszervi minősége (illat, íz és szín komponensek) a jelenlévő aktív enzimek miatt, illetve a kevésbé hatékony antimikrobás hatás miatt rövidült a termék eltarthatósági ideje.

GAO és munkatársai (2016) szamócapüré szín, antocianin és fenoltartalmának változását vizsgálták HPT kezelések hatására, 25 °C-os és 4 °C-os tárolás során. Az eredményeik szerint az alacsonyabb hőmérsékletű tárolás esetében dupla annyi antocianin és fenolos vegyület maradt a mintákban.

VERBEYST és munkatársai (2010) tanulmányuk során szamócapüré antocianin-tartalmának bomlását vizsgálták különböző nyomás (200-700 MPa) és hőmérséklet (80-130 °C) kombinációk esetében. A mérési eredmények alapján elmondható, hogy az antocianin a hőmérséklet emelkedésére érzékenyebben reagált (50-60%-os veszteség növekedés), mint a nyomás növekedésére (10-20%-os veszteség növekedés). Minél nagyobb nyomást párosítottak a magasabb hőmérséklettel annál nagyobb degradációt mutattak ki.

CORRALES és munkatársai (2008a) nem mutattak ki szignifikáns cianidin-3-O-glükozid (Cy3gl) veszteséget 200–600 MPa nyomástartományban 25 °C-on kezelt mintaoldatokban. A hőmérséklet 70 °C-ra emelésével 200 MPa-on történő kezelés szintén nem mutatott ki jelentős veszteséget a Cy3gl-ben. A 600 MPa-on és 70 °C hőmérsékleten történő kezelés következtében azonban a Cy3gl veszteség jelentős volt (elérte a 25%-ot 30 perces kezelést követően, illetve az 53%-ot 6 óras kezelés után), a csökkenés pedig a kezelési idő függvénye volt. A szerzők az együttes nyomás és hőkezelésnek köszönhető Cy3gl degradációról számoltak be, mint kondenzációs reakció eredménye, az antocianinok piruváttal vitisin A-típusú származékát alkották. Az ilyen kondenzációs reakciók eredményeként létrejövő cikloaddíciós termékek az UV-látható spektrumok hipokróm elmozdulását eredményezik, ami az élelmiszer elszíneződését okozza (CORRALES et al. 2008).

Hasonló kondenzációs reakciók fordulhatnak elő, ha az antocianinok kovalens kötással kapcsolódnak a gyümölcsleiben található más flavonolokhoz, amelyek új pirángyűrű kialakulásához vezethetnek (TIWARI et al. 2009a).

Nagynyomású sterilizálás (PATS) során, magas nyomáson és hőmérsékleten, a gyorsabb hőmérséklet fokozásnak (adiabatikus melegedés) és ezáltal a rövidebb kezelési időknél köszönhetően több fitokemikáliát lehet visszatartani az élelmiszerekben. Például a nagy nyomáson történő sterilizálás 600 MPa / 110 °C / 3 perc alatt az összes antocianin 80–90%-os megtartását eredményezte eper pasztában (VERBEYST et al. 2010).

A termékek zamata, az íz és szag érzékszervi érzékelése közvetetten összefügg a bioaktív vegyületek élelmiszerekben tanúsított viselkedésével. Általában a gyümölcsök és zöldségek ízvegyületei kis molekulaszervezetű illékony vagy nem illékony vegyületek, például aldehidek, észterek, savak, laktonok, ketonok, alkoholok, kénvegyületek stb.

Egyes szerzők arról számoltak be, hogy a HPT kezelések jobb szín-, íz- és aromamegőrzést nyújtottak a hagyományosan hőkezelt termékekhez képest (GUPTA et al. 2010, GARCÍA-PARRA et al. 2014).

TEREFE és munkatársai (2009) különböző nyomásokon és alacsony hőmérsékleteken kezelt szamócaminták szín és antocianin-tartalom vizsgálata során arra az eredményre jutottak, hogy a kezelések nem eredményeztek szignifikáns eltérést az antocianin és polifenol-tartalomban. A legjobb minőséget az alacsonyabb hőmérsékleten kezelt minták őrizték meg. Az enzimek inaktiválása a legnagyobb nyomás-hőkezelés kombinációnál volt a leghatásosabb. A tárolás alatt színváltozás volt mérhető, ami a maradék enzimek által okozott oxidációnak volt köszönhető. Mivel az antocianin és a megmaradt enzimek mennyisége között nem volt összefüggés, ez valószínűleg a tasakokban maradt oxigén miatt következett be. Kísérleteik alapján a 20–40 °C hőmérséklettartomány bizonyult az ideálisabbnak a késztermék érzékszervi minőségét vizsgálva.

2.6.2. A tárolás során bekövetkező változások a HPT kezelt szamócapürében

Önmagában a nagy hidrosztatikus nyomáskezelés a minőségmegőrzés szempontjából hasznosnak mondható: a késztermék minősége nagymértékben hasonlít a kiindulási nyersanyagok minőségére, a termék a kezelés hatására nem veszít számottevően a frissességéből. Ahogy azt a 2.4. fejezetben említettem, bizonyos mikroorganizmusokra és enzimekre azonban szelektíven hat, így önmagában nem elegendő.

Az alacsony hőmérsékletű kezelés sem elegendő minden mikroba és aktív enzim inaktiválásához, illetve a hőmérséklet emelésével fennáll annak a veszélye, hogy az értékes komponensek sérülnek. A két kezelés együttes hatása azonban egyes esetekben már megfelelő élelmiszerbiztonságot

eredményezhet. Számos kutatás számol be a különböző kombinált eljárások sikeréről. Így a HPT alkalmazása elsődlegesen nem csak mikrobiológiai szempontból, hanem az oxidatív enzimek inaktiválása céljából is kedvező lehet (GARCÍA-PARRA et al. 2014).

Az aktív peroxidáz enzim tekintetében az ideális paraméterek a következők voltak: 600 MPa, 60 °C, 10 perc kezelési idővel. Ezen paraméterek mellett a peroxidáz enzim inaktiválása közel 58%-os volt. Jelentős polifenol-oxidáz aktivitás nem volt kimutatható a kísérleteik során (TERFE et al. 2009). Más kutatások is hasonló eredményeket hoztak. SULAIMAN és munkatársainak (2013) kísérletei szerint is a 600 MPa kezelés volt a leghatékonyabb, 15 perces kezelési idővel, ez inaktiválta a legtöbb polifenol-oxidáz enzimet. Amennyiben a nyomáskezelést alacsony hőmérsékletű hőkezeléssel kombinálták (34–62 °C), még kevesebb aktív enzimet tudtak kimutatni. 200 MPa-on, illetve ennél kisebb nyomás alkalmazásával nem volt elegendő a kezelés nem csak az enzimek tekintetében, de a mikrobák számát tekintve sem. A hőkezelés 55 °C-on volt a leghatásosabb az eperpüré tartósításakor.

A legtöbb kutatásban az enzimeket irreverzibilisen inaktiválták a HPT kezelés segítségével. A nyomás és a hőmérsékleti ellenállás rangsorolása nagymértékben függ az enzim típusától és forrásától. Az enzim inaktiválásának szintjét a HPT kezelés során befolyásolja a folyamat intenzitása (pl. nyomásszint, hőmérsékleti szint és nyomástartási idő), az enzimkoncentráció, az enzim tisztasága, a környezeti állapot, például pH, sókoncentrációk, molaritás, puffertípus, inhibitor vagy aktivátor jelenléte, táplálék tápközeg összetétele, ételmátrix stb.

Beszámoltak arról is, hogy a különféle élelmiszer-előkészítési módok is befolyásolják az optimális enzimkatalitikus aktivitást a HPT tartósítás során, annak ellenére, hogy ugyanazokat az élelmiszer-mátrixokat használják. Például, az endogén PME aktivitás szempontjából különböző optimális nyomás és hőmérsékleti tartományt figyeltek meg a darabolt és az aprított sárgarépa esetében (SILA et al. 2007).

Bár kereskedelemben még nem kaphatók HPT technológiával feldolgozott élelmiszerek, az élelmiszeripar számára előnyös lenne életképes eljárást biztosítani olyan hőérzékeny termékek esetében, mint például a gyümölcsből származó termékek, amelyek a hagyományos hőkezelés során súlyos minőségromlást szenvednek.

2.7. A HPT élelmiszeripari alkalmazásának és kereskedelmi forgalomba helyezésének problematikája

A HHP technológiát ipari méretekben általában úgy alkalmazzák, hogy a termékeket legfeljebb 600 MPa nyomásnak teszik ki, míg a laboratóriumok olyan berendezéseket használnak, amelyek 1400 MPa nyomást képesek létrehozni. A Hiperbaric, Avure, Multivac által gyártott, és más ipari

volumenű kezelésre használt berendezések általánosan lehetővé teszik az élelmiszerek nagy nyomású tartósítását 600 MPa maximális nyomásig +5 °C és +25 °C közötti hőmérséklet-tartományban.

A legnagyobb kezelőtérrel rendelkező (687 l és 525 l) ipari berendezések akár 310 MPa és 600 MPa nyomást is elérhetnek, azonban maximum 50 °C-ig terjedő hőmérsékleten képesek ezt kivitelezni (HIPERBARIC 2018). Így az élelmiszeriparban jelenleg használt élelmiszertartósításra alkalmas technológia csak pasztörizáló hatást eredményez, mivel az egyes élelmiszerekben található mikroorganizmusok és enzimek eliminációja nem teljes mértékű. Ugyanakkor enyhe vagy magas hőmérséklettel kombinálva a nagy hidrosztatikus nyomáskezelést, amelyet nagy nyomású hőkezelésnek (HPT), neveznek, sterilizációs hatást eredményezhet.

Az előző fejezetben bemutatott HPT technológia alkalmazására irányuló kísérletek eredményei laboratóriumi körülmények között születtek, ahol a nagy hidrosztatikus nyomású kezeléseket szimultán végzik a hőkezelésekkel, vagyis időben nem különülnek el. Jelenleg azonban még fejleszteni kell a HPT technológia ipari alkalmazásához szükséges berendezéseket.

Jelenleg a kutatók jelentős erőfeszítéseket tesznek annak érdekében, hogy a termékeknél HPT kezelésekkal sterilizáló hatást érjenek el. Ez az új technológia várhatóan stabil, jobb minőségű termékeket fog eredményezni, mint az önállóan csak hőkezeléssel, vagy csak nyomáskezeléssel feldolgozott termékek. A HPT berendezések elsősorban a kísérleti méretre korlátozódnak, mivel intenzív nyomást és hőt használnak fel, anyagtudományi és a mérnöki szempontból a folyamat jelentős megterhelést fejt ki a kezelőtérre és a tömítésekre, ami korlátozhatja a berendezés élettartamát. A berendezések tömítései a magasabb hőmérsékletnek köszönhetően rongálódhatnak és hamarabb amortizálódhatnak a kezeléseket során, hiszen ahhoz, hogy gazdaságos legyen az üzemeltetés, óránként 5-6 kezelési ciklust kell végrehajtani (szakaszos berendezés). A berendezés innovatív mivoltából fakadóan az alkatrészek igen drágák, így a túlterhelés áll a gazdaságosság útjába (RATHNAKUMAR, MARTÍNEZ-MONTEAGUDO 2021). A HPT technológia további korlátja az előmelegítési folyamat időigényessége, amelynek során az élelmiszercsomagolásokat szokásos konvekciós hőátadással, környezeti nyomáson melegítik (75–90 °C).

Mindazonáltal az ipari berendezések megbízhatóságának technikai korlátai között szerepel, hogy a hőmérsékletet érzékelő szenzorok sok HPT-rendszerben általában nem működnek megfelelően a kezelőtér robusztus zárásán keresztül, ezért az iparban elengedhetetlen átfogó validálási kísérletek időigényesek, valamint számos esetben pontatlanok lehetnek, továbbá az adiabatikus melegedéssel is számolni kell. A hőmérséklet monitorozásának nehézségei és a folyamat során az inhomogén hőmérséklet-eloszlás bonyolulttá teszik az ipari megvalósítást. A folyamatban lévő kutatások megfelelő izoláló anyagokat próbálnak találni megbízható érzékelő kifejlesztésére (HYPERBARIC 2019b).

Ugyanakkor még mindig nincsenek olyan termékek a piacon, amelyeket nagynyomású termikus (HPT) kezeléssel kezeltek, és ennek a technológiának a kereskedelmi alkalmazása drágább lesz, más technológiai tényezők, például a nyomásátadó folyadék mellett. Ezenkívül az élelmiszer-tartósítás megemelkedett költségei tükröződnének a végtermék árában, és a fogyasztók esetleg nem találnának megfelelő minőség-javulást a magasabb árakhoz képest (GARCÍA-PARRA, RAMÍREZ 2019).

Innen ered a sorrendiség hatásának vizsgálata, mivel az iparban még nem voltak ehhez hasonló eredmények. Ha időben és térben elkülönítjük a kezelés fázisait, egyszerűbben kivitelezhetőek a kombinált kezelések, könnyebben mérhetőek a paraméterek, illetve egyszerűbb berendezésekkel is megoldható a tartósító kezelés.

Viszont felmerül a kérdés, ha külön végezzük a kezeléseket, hogyan érdemes megválasztani a kezelések sorrendjét?

3. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

3.1. A gyümölcs alapanyag és mintaelőkészítés

A mintakészítéshez a gyümölcs alapanyag (*Fragaria x ananassa Duch.*) kereskedelmi forgalomból került beszerzésre (11. ábra), a minták 750 g-os kiszerelésű gyorsfagyasztott szamócából készültek. Azáltal, hogy friss alapanyag helyett gyorsfagyasztott alapanyagból készültek a minták, kiküszöbölhető volt a szezonális problémája, valamint az alapanyagminőség is relatíve állandóbb. Míg elérhetőség szempontjából a friss szamóca minőségi paraméterei gyakran különbözőek lehetnek az éppen elérhető fajtától, érettségi szinttől, termesztési körülményekből kifolyólag, addig a hűtőházi feldolgozáshoz megkövetelt az állandó minőség, az alapanyag csak megfelelő minősítést követően kerülhet feldolgozásra, mely biztosítja a technológiához szükséges elvárásokat.



11. ábra A kísérletekhez felhasznált kereskedelmi forgalomból származó gyorsfagyasztott szamóca (Forrás: saját felvétel)



12. ábra Robot Coupe C80A típusú passzírozó gép (Forrás: saját felvétel)



13. ábra Vákuumcsomagológép (Forrás: saját felvétel)



14. ábra Az elkészített szamócapüré minták (Forrás: saját felvétel)

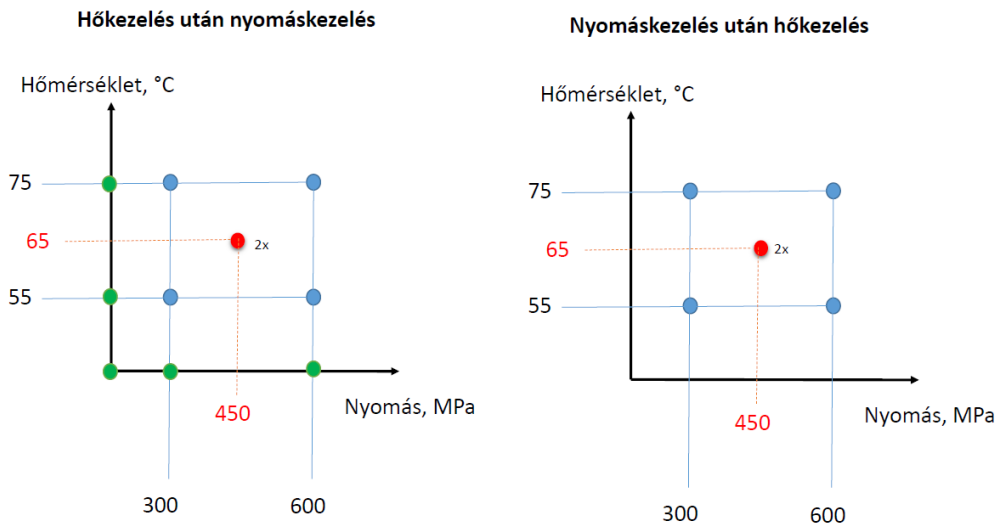
A szamóca felengedtetése laboratóriumi hűtőszekrényben történt eredeti csomagolásában. A gyümölcs alapanyagból a püré készítés Robot Coupe C80A típusú passzírozó gép (Robot-Coupe Ltd., Montceau-les-Mines, Franciaország) (12. ábra) segítségével történt, 2 ismétléssel, hogy

megfelelő állományú, kellően homogén, sűrűn folyó számocapürét kapjunk. Az így készült mintákat polietilén (Cryovac ©, BB4L) tasakokba töltöttem és vákuumcsomagoló berendezéssel légmentesen lezártam (13. ábra). A légmentes zárásra a nyomáskezelő berendezés megfelelő működése, valamint a kezelés és tárolás során fellépő esetleges oxidáció visszaszorítása végett van szükség. A mintakészítés során készültek 800 grammos henger alakú tasakok (ezek átlagos átmérője 13 cm, magassága 32 cm), valamint 50 grammos tasakok is (14. ábra). A nagyobb mennyiségű kiserelésekre elsősorban az érzékszervi vizsgálatokhoz, a kisebb kiserelésekre pedig a műszeres, analitikai és mikrobiológiai vizsgálatokhoz volt szükség.

3.2. A minták HHP és kéméletes hőkezelése

Az alacsony, magas valamint középponti nyomásszintek és kezelési hőmérsékletek kiválasztása az eredmények kiértékeléséhez alkalmazott 2^n többtényezős faktoriális kísérletterv statisztikai modelljének felépítéséhez mérten, valamint korábbi kutatási eredményeim és a szakirodalmi eredmények alapján történt. A kísérleteim során cél volt, hogy megvizsgáljam, hogy az önálló és kombinált kezelések, különös tekintettel azok sorrendje hogyan hat a számocapürék minőségi paramétereire, ugyanakkor a minták vizsgálható állapotban maradjanak a kísérletterv szerint meghatározott tárolási idő végéig. Kutatásaim során megállapítottam, hogy a 300 MPa-on végzett nyomáskezelés a számocapüre színezetét kb. 10 napig képes megőrizni jelentősebb színezetbeli és beltartalmi értékek változása nélkül 15 °C-os hőmérsékleten (SALAMON 2010), valamint élelmiszerbiztonsági szempontból megfelelő mikrobiológiai állapot mellett (MARSZALEK et al. 2015). Emellett figyelembe vettem, hogy a legtöbb kereskedelmi alkalmazása a HHP-nek 600 MPa nyomáson történő feldolgozást jelent 3 és 5 perc közötti kezelési időtartamokra (BALASUBRAMANIAM et al. 2008), valamint a hőkezelés szintje is a kellően hatékony tartományba essen magas savtartalmú gyümölcsök, úgymint a bogyósok esetében (SABLANI et al. 2010). Így a kísérletterv felépítése során igyekeztem leképezni az ideális tárolási körülményeket (2 °C-os tárolás) és ezt párhuzamba állítani egy a hűtlánc szempontjából nem ideális tárolási hőmérséklettel (15 °C-os tárolás).

A különböző kezelések kivitelezése és azok kombinációja a 15. ábrán látható. Az előkészített mintákat több csoportba osztottam, melynek értelmében: csak hőkezelték (55 vagy 75 °C), csak nyomáskezelték (300 vagy 600 MPa), kombináltan hő- és nyomáskezelték különböző sorrendben (55 °C / 300 MPa – 300 MPa / 55 °C, 75 °C / 300 MPa – 300 MPa / 75 °C, 55 °C / 600 MPa – 600 MPa / 55 °C, 75 °C / 600 MPa – 600 MPa / 75 °C, a jelölések sorrendje egyben jelöli a kezelések sorrendjét is, pl. 55 °C / 300 MPa esetében először történt a hőkezelés majd azt követte a nyomáskezelés), valamint kezelés nélküli kontroll minta.



15. ábra A különböző kezelések kivitelezésének grafikus ábrázolása

A centrum pontokban lévő mintákból (65 °C / 450 MPa – 450 MPa / 65 °C) két párhuzamos minta is készült. Így a mintamátrix összesen 49 különböző kezelésű és tárolású mintából épült fel: kontroll minta és 4 db önálló kezelés: 300 MPa, 600 MPa, 55 °C, 75 °C (zöld színű pontok); 8 db kombinált kezelés eltérő sorrendben (kék színű pontok); 2 db kombinált kezelés a centrum pontban eltérő sorrendben 2 ismétléssel (piros színű pontok); az eddig felsorolt 16 db önálló vagy kombinált kezelésekből részesült mintákból ugyanennyi volt 2 °C-on illetve 15 °C-on is tárolva 14 napig. A mintamátrix összes mintája a kísérleteim különböző szakaszaihoz (1. szakasz: mikrobiológiai vizsgálatok, pH érték, színjellemzők és bioaktív komponensek meghatározása, 2. szakasz: érzékszervi jellemzők és illékony komponensek meghatározása, 3. szakasz: reológiai vizsgálatok) újragyártásra és vizsgálatra kerültek, kivéve az érzékszervi vizsgálatok esetét, ahol a kezelési kapacitásokhoz képest 1-1 mintából jelentős mennyiségre volt szükség, így korlátoztam a minták számát, melyeket a 3.3.7 fejezetben fejtek ki.

A minták hőkezelése vízfürdőben történt (Lauda R1225, Germany): 55, 65 és 75 °C-on, minden esetben 10 percig. A víz hőmérsékletének, a minták maghőmérsékletének, valamint a kezelési időnek az ellenőrzése ELLAB TM 9604 C adatgyűjtő mérőeszköz segítségével történt (Ellab, Dánia). A kezelési időt a minták megfelelő meghőmérséklet elérésétől számítottuk. A kezelés után a hűtés jeges vízben történt.

A minták nyomáskezelése a Resato FPU-100-2010 (Resato International B.V, Hollandia) típusú berendezéssel történt (16. ábra). A berendezés egy nyomásfokozó egységből (1600 mm x 2200 mm x 830 mm, 1200 kg.) és kezelő egységből (1300 mm x 950 mm x 1400 mm, 4500 kg.) áll. A kezelőkamra térfogata 2 liter, a nyomásközvetítő közeg RESATO PG Fluid. Az elérhető maximális nyomás 1000 MPa (10.000 bar). A kezelés paraméterei, mint a nyomáskezelés időtartama, a nyomás növelésének üteme, valamint a hőmérséklet tetszőlegesen szabályozhatók.

A berendezéshez kapcsolódó termosztát segítségével a kezelés hőmérséklete $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ között szabályozható. A berendezés a rendszerhez kapcsolt vezérlőpulttól programozható, irányítható. A kezelési ciklusok nyomás – hőmérséklet értékei digitális formában automatikusan tárolódnak. A kezeléseket 300, 450 illetve 600 MPa nyomásértékeken 5 perces tartási idővel végeztem. A kezelés közben fellépő adiabatikus hőmérsékletemelkedés 100 MPa-onként kb. $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (HEIJ et al. 2003).

A 0. napon vizsgált minták kivételével 14 napos (2 hét) tárolási kísérletet is végeztem $2 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ illetve $15 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on, hogy figyelemmel kísérjem a tárolás következtében bekövetkező változásokat.



16. ábra A Resato FPU-100-2010 (Resato International B.V, Hollandia) nagy hidrosztatikus nyomású berendezés (balra) a kezelőtérbe helyezett gyűjtőcsomagokkal (fent) (Forrás: saját felvétel)

3.3. *A szamóca fiziko-kémiai és beltartalmi jellemzőinek meghatározása*

3.3.1. A szamócapüré színezeti jellemzőinek a meghatározása

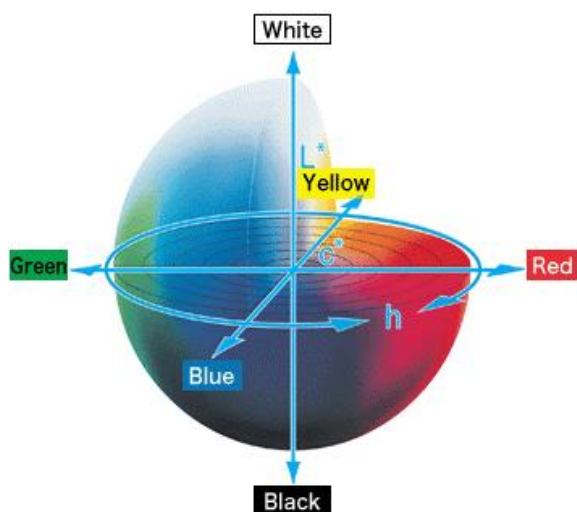


17. ábra Minolta CR-400 típusú színmérő készülék
Forrás: <https://www.konicaminolta.eu>

A színmérést Konica Minolta CR-400 típusú (Minolta Co. Ltd., Osaka, Japán) tristimulosos színmérő készülékkel végeztem (17. ábra), 5 párhuzamos mérést végezve a mintákon.

A készülék $d/0^{\circ}$ mérőgeometriájú, a mérendő felületet diffúz módon világítja meg és 0° -os szögben, vagyis a merőlegesen visszaverődő fény halad át a mérés során a vörös, zöld és kék színszűrőkön.

A műszer X, Y és Z trikromatikus értékek mérése után meghatározza az L^* , a^* és b^* színekoordinátákat. Az L^* a színezet világosságát jelzi (fekete pont: $L^* = 0$; fehér pont $L^* = 100$), az a^* a vörös-zöld színezetet jelöli ($+a^*$ vörös, $-a^*$ zöld), a b^* pedig a kék-sárga színezetet határozza meg ($+b^*$ sárga, $-b^*$ kék) (18. ábra).



18. ábra A CIELab színtér
(Forrás: <http://www.techfak.uni-bielefeld.de>)

Ezeknek a koordinátáknak a segítségével minden színhez egyértelműen hozzárendelhetünk a színtérben egy színpontot. A mintákhoz rendelt, méréssel meghatározott színpontok térbeli elhelyezkedéséből és egymáshoz viszonyított távolságaikból a minták közötti színeltérések irányára és nagyságára következtethetünk.

A minta eltérése az etalonról a ΔE^*_{ab} színíngerkülönbség. Ez a CIELAB rendszer legfontosabb jellemzője. A két színpont közötti távolság kiszámításához a térbeli Pithagorasztételt használjuk (1):

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1.)$$

Ahol ΔL^* , Δa^* , és Δb^* a kezeletlen és a kezelt minták L^* , a^* és b^* értékeinek különbségei (SALAMON et al. 2016).

Két színpont között a nagyon kis különbséget az emberi szem nem mindig képes érzékelni, viszont a színíngerkülönbségek alapján számadatot tudunk adni a különbségekről. A különbségek értékhatára nyilván függ a felület tulajdonságaitól, amit a színpontokkal jellemzünk, tehát nem lehet általános szabályt felállítani. Gyakran alkalmazzák az 1. táblázatban foglalt tolerancia határokat, melyet eredetileg papíripari termékek minősítésére dolgoztak ki (LUKÁCS 1982).

1. táblázat A vizuális érzékelés és ΔE^*_{ab} színkülönbség kapcsolata

ΔE^*_{ab}	az érzékelt különbség
0...0,5	nem vehető észre
0,5...1,5	alig vehető észre
1,5...3,0	észrevehető
3,0...6,0	jól látható
6,0...12,0	nagy

Példaképpen megemlítem, hogy a MOMCOLOR színmérő készülék a porcelán etalonok kiértékelésénél $\Delta E^*_{ab} = \pm 0,2$ megbízhatóságú, szabálytalan felületű tárgyak (pl. Jonathan alma) mérésekor $\Delta E^*_{ab} = \pm 1$ -re számíthatunk (LÁSZLÓ 2003). A tristimulosos színmérőket mérés előtt ismert színjellemezőjű etalonnal kalibrálni kell

(HALÁSZNÉ 1988). A méréseket közvetlenül műanyag fólián keresztül végeztem. A méréseket megelőző kalibrációt nem egyszerűen a fehér próbatesten (kerámialapon), hanem a mérőfej alá helyezett tiszta műanyag fólián keresztül végeztem, hogy elkerüljem a mérések során a műanyag fólia színmérésre gyakorolt lehetséges hatásait.

3.3.2. A pH érték meghatározása

A számocapüré pH értékének megállapításához Testo 206-pH2 típusú (Testo AG, Németország) digitális kézi pH mérő műszert használtam (20. ábra), mely folyadékok és félkemény anyagok pH-jának mérésére is alkalmas. A készülék a beépített hőmérsékletérzékelő segítségével méri a termék maghőmérsékletét is. A kísérletek során minden esetben három párhuzamos mérést végeztem.



20. ábra Testo 206 pH2 típusú pH mérő készülék

(Forrás: <https://www.testo.com/en-US/testo-206-ph2/p/0563-2066>)

3.3.3. Antocianin-tartalom meghatározása

Az antocianin-tartalom meghatározása pH differenciális módszer (GIUSTI, WROLSTAD 2001) alkalmazásával történt, melynek segítségével az összes monomer antocianin komponens meghatározható. Az egyes mintákból 1-1 g-ot mértem ki analitikai pontossággal, melyekhez 3 ml desztillált vizet és 1,95 ml metanolt adtam. Ezt követően minden mintához tömény sósavat adagoltam (0,05 ml) és egy órán keresztül sötét helyen tároltam. Az extrakcióra azért volt szükség, hogy a színyanyagok teljes mértékben kioldódjanak, így a rostok nem befolyásolják a mérést. Az extrakció után a mintákat 2 ml-s Eppendorf csövekben 10 000 1/min fordulatszámon 20 percig centrifugáltam, hogy a színyanyagot tartalmazó felülúszót és a rostokat elválasszam egymástól.

A pH változásával a monomer antocianin komponensek színe reverzibilisen változnak. A színes forma pH 1,0-es, míg a színtelen forma pH 4,5-ös értéken jelenik meg. Ezért 0,025 M-os kálium-klorid, és 0,4 M-os nátrium-acetát puffereket készítettem, melyeknek pH-ját tömény sósavval 1,0-ra és 4,5-re állítottam $\pm 0,05$ eltéréssel. Minden mintából két hígítást készítettem: a hígítás során 5 cm³-es mérőlombikokba 1 cm³ extraktumot pipettáztam, majd jelre töltöttem a KCl, illetve a Na-acetát pufferekkel. Minden így készült minta abszorbanciáját 520 és 700 nm-en határoztam meg a vak (desztillált víz) ellenében. A méréshez Hitachi U-2900 típusú Spektrofotométert (Hitachi, Japán) használtam. A kísérletek során minden esetben egy párhuzamos mérést végeztem.

A pigmentek 520 nm-en és 700 nm-en mért abszorbanciájának különbsége arányos a koncentrációval. Az összes monomer antocianin (TMA) koncentrációját a (2) képlet szerint számolhatjuk mg cianidin-3-glükozid ekvivalens értékben számítva 1 liter friss pürére vonatkoztatva, mg/l mértékegységben kifejezve:

$$\text{TMA (mg/l)} = \frac{A \cdot MW \cdot DF \cdot 1000}{\varepsilon \cdot L} \quad (2)$$

$$A = (A_{510} - A_{700})_{\text{pH} = 1} - (A_{510} - A_{700})_{\text{pH} = 4.5} \text{ [nm]}$$

MW – cianidin-3-glükozid molekulatömege [449,2 g/mol]

DF – hígítási faktor

ε – moláris extinciókoefficiens [$26900 \text{ l} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$]

L – úthossz [cm]

Negatív érték esetén 0-val számoltam.

3.3.4. Összes polifenol-tartalom meghatározása

Az összes polifenol-tartalom meghatározást Folin-Ciocalteu reagens segítségével végeztem el galluszsavra vonatkoztatva (SINGLETON, ROSSI 1965). A kalibrációs egyenes felvételéhez a 2. táblázatban szereplő mintasort készítettem el oly módon, hogy a végtérfogat minden esetben 2500 μl legyen. A vak minta nem tartalmazott galluszsav-oldatot (a táblázat első két sora).

2. táblázat: Kalibrációs görbe felvételéhez szükséges mintasor összpolicenol-tartalom mérés esetén

	Folin-oldat (10 V/V%)	Metanol-oldat (80 V/V%)	Galluszsav-oldat (0,3 mmol/dm³)	Na₂CO₃ (0,07 mol/dm³)
1.	1250 μl	250 μl	-	1000 μl
2.	1250 μl	250 μl	-	1000 μl
3.	1250 μl	200 μl	50 μl	1000 μl
4.	1250 μl	150 μl	100 μl	1000 μl
5.	1250 μl	100 μl	150 μl	1000 μl
6.	1250 μl	50 μl	200 μl	1000 μl
7.	1250 μl	-	250 μl	1000 μl

A mintaelőkészítés az antocianin-tartalom meghatározáshoz hasonlóan végeztem. A kémcsöveket 5 percre 50 °C-os vízfürdőbe helyeztem, majd meghatároztam azok abszorbanciáját 760 nm-en.

Az összes polifenol-tartalmat az alábbi (3) képlet segítségével számolhatjuk mg galluszsav ekvivalens értékben számítva 100 ml friss pürére vonatkoztatva, mg / 100 ml mértékegységben kifejezve:

$$TPC = \frac{A}{tg\alpha} * \frac{V_{\text{összes}}}{V_{\text{minta}}} * H \quad (3)$$

ahol TPC – összes polifenol-tartalom [mg/100ml]

A – abszorbancia

tgα – a kalibrációs egyenes meredeksége

V_{összes} – végtérfogat = 2500 μl

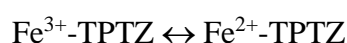
V_{minta} – a bemért minta térfogata

H – mérés során alkalmazott hígítás

A minták TPC értékének meghatározásakor a kalibrációhoz hasonlóan jártam el, azzal a különbséggel, hogy galluszsav helyett a mérendő mintát mértem az elegybe, a mintától függően 50–200 μl-es mennyiségben. A kísérletek során minden esetben egy párhuzamos mérést végeztem.

3.3.5. Antioxidáns kapacitás meghatározása FRAP módszerrel

A szamócapürék antioxidáns kapacitás értékének meghatározásához FRAP (Ferric Reducing Ability of Plasma) módszert alkalmaztam BENZIE és STRAIN (1996) nyomán, melynek lényege, hogy a ferri-(Fe)³⁺-ionok az antioxidáns aktivitású vegyületek hatására ferro-(Fe)²⁺-ionokká redukálódnak, melyek a tripiridil-triazinnal (TPTZ) kék színű ferro-tripiridil-triazin komplexet képeznek, amely fotometriásan 593 nm-en mérhető.



színtelen kék

A FRAP értéket úgy kapjuk, ha összehasonlítjuk a minta extinkció értékét 593 nm-en olyan reakció eleggyel, melynek ismerjük a Fe²⁺ koncentrációját.

A FRAP reagenst közvetlenül a mérés előtt állítottam össze, hogy elkerüljem a nem kívánatos reakciókat. Összetétele a következőképpen alakult: 25 ml 300 mM-os acetát puffer (pH 3,6); 2,5 ml 20 mM-os FeCl₃ oldat és 2,5 ml 10 mM-os TPTZ oldat. A kalibrációs egyenes felvételéhez 10 mM-os aszkorbinsav oldatot készítettem, majd elkészítettem a kalibrációs pontok mérőoldatait (3. táblázat).

A mérőoldatok abszorbanciáját 593 nm-en mértem, majd felvettem a kalibrációs egyenest. A kísérlethez a szamócapürét homogenizáltam, majd 2 ml-es Eppendorf csőben 10 000 1/s fordulatszám 20 percig centrifugáltam. A további mérésekhez a felülúszót használtam. A

mérőelegy összterfogata 1550 µl volt (1500 µl reagens és a mintától függően 10-50 µl mintaoldat illetve desztillált víz a 3. táblázat alapján), melyet 5 perccel a fotometriás mérés előtt állítottam össze. Az antioxidáns kapacitás értékét mmol Fe²⁺ ekvivalens értékben 100 ml friss pürére vonatkoztatva, mmol Fe²⁺/100ml mértékegységben kifejezve kapjuk meg. A kísérletek során minden esetben egy párhuzamos mérést végeztem.

3. táblázat: Kalibrációs görbe felvételéhez szükséges mintasor antioxidáns kapacitás mérés esetén

	Reagens, µl	Aszkorbinsav, µl	Desztillált víz, µl
1	1500	10	40
2	1500	20	30
3	1500	30	20
4	1500	40	10
5	1500	50	0

3.3.6. Mikrobiológiai vizsgálatok

3.3.6.1. Összes élősejtszám meghatározás

Összes élősejtszám alatt az összes élő, aerob és fakultatív anaerob, mezofil és fakultatív pszichotróf mikrobák számát értjük. A mintavételezést aseptikus körülmények között végeztem az EN ISO 4833:2003 szabvány szerint. A mintából tizedelő hígítási sort készítettem, majd mindegyik tagból lemezöntést végeztem TGE (Tryptone Glucose Extract) agarral. Végül 72 órás, 30 °C-on, aerob körülmények között történő inkubációt követően értékeltem a mintákat. Minden mérést 2 ismétléssel végeztem és az átlageredményeket lg TKE/g (TKE, Telepképző Egység) mértékegységben fejeztem ki.

3.3.6.2. Élesztő- és penészgombaszám meghatározás

Az élesztő- és penészgombaszám meghatározását ISO 21527–1:2008 szabvány szerint végeztem. RBC (Rose-Bengal Chloramphenicol) táptalajt készítettem és Petri-csészékbe öntöttem. A vizsgálandó mintákból tizedelő hígítást készítettem, majd aseptikus körülmények között felületi szélesztést végeztem. A mintákat 25 °C-on, 3-5 napig inkubáltam, majd értékeltem.

A kezdeti alacsony sejtszám miatt, mely feltételezhetően a fagyasztott alapanyagból történő mintakészítésnek volt köszönhető, a második kísérletsorozatban a számocapürét beoltottam élesztő és penész fajok kombinációjával, hogy a kezelés hatékonysága jobban kimutatható legyen. A beoltott fajokat (*Botrytis cinerea*, *Rhodotorula sp.*), szakirodalom alapján, mint a számóca fő

romlást okozóit választottam ki (SASS 1986). Minden mérést 2 ismétléssel végeztem és az átlageredményeket lg TKE/g mértékegységben fejeztem ki.

3.3.7. Érzékszervi minősítés

Ahhoz, hogy kifejezetten a kezelések sorrendjének hatását vizsgálni tudjam, az érzékszervi minősítések során a különbségvizsgálati módszerek közül az egyik legérzékenyebb módszert, a kis különbségek kimutatására alkalmas és a bíráló mérsékelt igénybevételét feltételező háromszög-tesztet (ISO 4120:2004) alkalmaztam. A háromszög-teszt részletes leírását az M3. melléklet mutatja be.

Az értékeléshez a szabvány alapján a szekvenciális eljárást alkalmaztam (ISO 16820:2004). A koordináta rendszer ordinátája az elvégzett bírálatok száma, abszcisszája az akkumulált helyes, illetve az egy termékre leadott bírálatok száma. Amennyiben a helyes válaszok száma a pirossal jelölt elutasítási határegyeneset meghaladja, úgy a minták különböznek, ha a zöld vonal alá jut, akkor a minták adott hibahatár mellett érzékszervileg egyformának tekinthetők. A szekvenciális módszer számításai:

Az elutasítási határegyenes: $L_0 = a_0 + bn$

Az elfogadási határegyenes: $L_1 = a_1 + bn$

Az elutasítási határegyenes Y tengellyel való metszéspontja: $a_0 = \frac{e_1}{k_1 - k_2}$

Az elfogadási határegyenes Y tengellyel való metszéspontja: $a_1 = \frac{e_2}{k_1 - k_2}$

Az egyenesek meredeksége: $b = \frac{k_2}{k_1 - k_2}$

Segédértékek kiszámítása:

$$k_1 = \lg p_1 - \lg p_0$$

$$k_2 = \lg (1 - p_1) - \lg (1 - p_0)$$

$$e_1 = \lg \beta - \lg (1 - \alpha)$$

$$e_2 = \lg (1 - \beta) - \lg \alpha$$

Elfogadási valószínűsége: $p_1 = 0,66$

Elutasítás valószínűsége: $p_0 = 0,33$

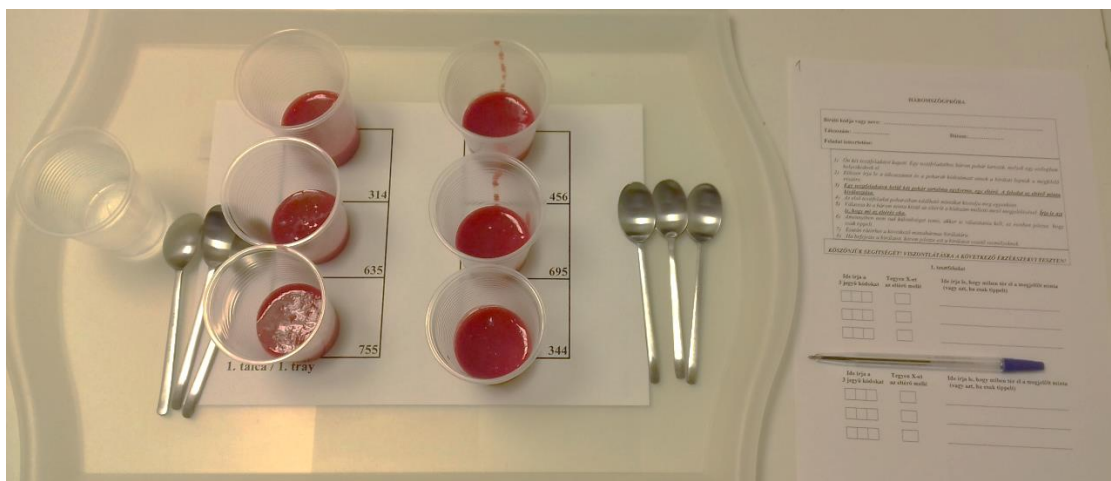
Elsőfajú hiba: $\alpha = 0,05$

Másodfajú hiba: $\beta = 0,1$

Bírálatok száma: n

Ha a két határegyenes közötti területen belül nem lehet megalapozott döntést hozni, akkor további bírálatokat készíthetünk, illetve a szakirodalom alapján a binomiális értékelés módszerét választjuk (MEILGAARD et al. 1999). A binomiális tétel akkor alkalmazható, ha az esetek kimenetele kétesélyes, az esetek egymástól függetlenek, és az eredmény valószínűsége az egész kísérlet alatt állandó. A binomiális eloszlás az eloszlásfüggvény valószínűségértékét számítja ki (amely annak a valószínűsége, hogy csak a sikeresek sikeresek), egyébként a sűrűségfüggvényét (amely a sikeresek valószínűsége). Amennyiben a számított valószínűségi érték az előre meghatározott ($\alpha = 0,05$ vagy $\alpha = 0,01$) felett van, akkor H_0 -t elfogadjuk, azaz 95 és/vagy 99%-os valószínűség mellett állíthatjuk, hogy matematikailag igazolható érzékszervi különbség nincs a két vizsgált minta között. Amennyiben a számított valószínűségi érték magasabb, akkor H_0 -t elutasítjuk, és H_1 -et elfogadjuk, azaz a két minta között matematikailag igazolható érzékszervi különbség van (SIPOS 2009).

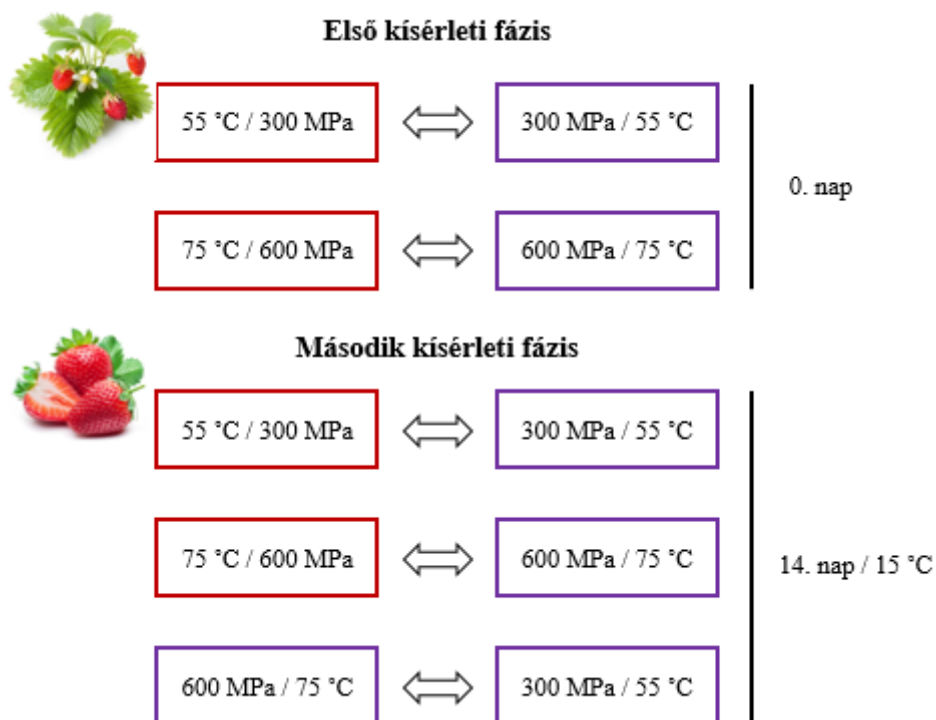
A teszt során egy-egy blokkban három mintát vizsgálunk. A mintahármasokon belül kettő minta egyforma, egy különbözik. A bírálók feladata az eltérő minta kiválasztása.



21. ábra Érzékszervi minősítés háromszög próbával (Forrás: saját felvétel)

A teszt során minden bíráló két mintahármasot kapott (21. ábra). Az egyes mintahármasok tagjai a tálcán függőleges sorokban helyezkedtek el. A mintahármasokból a bírálónak egymás után ki kellett választania a különbözőt. Ha képes volt megállapítani, hogy miben tért el a kiválasztott minta, akkor ezt is leírhatta. Amennyiben a bíráló nem tud különbséget tenni a minták között, akkor is választania kell. Az ún. kötelező választás (*forced choice*), azonban ez esetben jelzi, hogy véletlenszerű választás történt. Amennyiben a bírálónak valamelyik mintával kapcsolatos egyéb észrevétele van, azt leírja a megfelelő minta mellé.

A tesztek a MATE Érzékszervi Minősítő Laboratóriumában végeztem. A bírálókat szabványos körülmények között zajlott: a bírálók külön fülkében végezték az érzékszervi tesztet, ásványvizet biztosítottam az ízsemlegesítéshez, minden mintához külön kanál tartozott.



22. ábra Az érzékszervi kísérletek felépítése a kezelési paramétereket és a kezelések sorrendjét illetően

Az előkészített mintákat különféle módon hasonlítottam össze. A kísérleti fázisok kivitelezésének grafikus ábrázolását a 22. ábra mutatja be. Az **első kísérleti fázisban** az először nyomáskezelt mintát hasonlítottam össze az először hőkezelt mintával, azonos paraméterek mellett. Ezt mindkét mintapár esetében elvégeztem (300 MPa – 55 °C és 55 °C – 300 MPa, illetve 600 MPa – 75 °C a 75 °C – 600 MPa mintákat összevetve.). Ezen kísérleti kör mintáit nem tároltam, a kezelések hatásait vizsgáltam a minták érzékszervi jellemzőire.

A **második kísérleti fázisban** a tárolás alatt fellépő változásokat vizsgáltam ugyanezen paraméterek mellett.

Illetve összehasonlítottam az először nyomáskezelt mintákat egymással is (a 300 MPa – 55 °C-on kezelt mintát a 600 MPa – 75 °C-on kezelt mintával összevetve).

3.3.8. Illékony komponensek vizsgálata



23. ábra Applied Sensor Technology NST-3320 elektronikus orr (KENESEI 2018)

A számcapüré minták illékony komponens vizsgálatát Applied Sensor Technology NST-3320 típusú (Applied Sensor Co., Sweden) elektronikus orr (23. ábra) segítségével végeztem. A műszer 10 katalitikus fémérzékelőt, 12 fémoxid félvezetőt és egy relatív nedvességtartalmat mérő szenzort tartalmaz. A mérésekhez tiszta referencia gázként szárítóoszlopon (szilika gél) és aktív szén oszlopon áramoltatott környezeti levegő szolgált. A gázáramlás sebessége 50 ml/perc volt. Mintánként hígítatlanul 8–8 grammnyi számcapürét mértem ki 30 ml térfogatú üvegfiolákba, majd teflonbevonatú záróelemmel lezártam, melyekből a készülék mindig három ismétlésben vett mintát.

A mintákat 20 °C-on tartottam az inkubálás megkezdéséig. Az inkubálás során a mintákat 15 percig 30 °C-on tartottam. A mérések során az alapvonal felvétele 10 másodpercig tartott, amit 30 másodperces mintagáz áramoltatás követett. A szenzorok regenerálódása 260 másodpercet vett igénybe, és egy 60 másodperces öblítéssel egészült ki. A szenzoroként rögzített adatsorból mérésenként az alapvonal és a maximális jelintenzitás különbségét használtam fel a többváltozós statisztikai elemzés bemeneti adataként.

3.3.9. A minták reológiai vizsgálata



24. ábra Physica MCR 51 típusú reométer (Forrás: saját felvétel)

A számcapüré minták reológiai tulajdonságainak vizsgálatát Physica MCR 51 típusú (Anton Paar GmbH, Austria) reométerrel végeztem (24. ábra). A vizsgálat során a számcapüré minták reológiáját rotációs üzemmódban vizsgáltam, CC27 koncentrikus henger mérőrendszerrel (Searle típus).

A készülék mintatartójába jelig töltöttem az adott számcapüré mintát. A mérés során vezéltem a nyírósebességet ($1-100\text{ s}^{-1}$) és mértem a nyírófeszültség értékeket. A mintákat a mérés előtt minden esetben 4 °C-ra hűtöttem és magát a mérést is ezen a hőmérsékleten végeztem, melyet a beépített termosztát biztosított.

A kísérlet során a nyírősebességet a folyásgörbe felvételéhez folyamatosan növeltem 100 s⁻¹-ig, majd folyamatosan csökkentettem, és ennek függvényében vizsgáltam a nyírófeszültség alakulását, 5 másodpercenként rögzítve a mérési adatokat. A görbére Herschel-Bulkey modellt illesztettem, majd a RheoPlus program segítségével kiszámítottam a folyáshatárt, a konzisztencia állandót, a folyásindexet, amely a newtoni viselkedéstől való eltérést számszerűen kifejező hatványkitevő, ami tulajdonképpen utal a minta reológiai típusára: Newton-i (n = 1), nyírásra vékonyodó (n < 1), vagy nyírásra vastagodó (n > 1) folyadék. Ezenkívül meghatároztam a minták tixotrópiáját (időfüggő viselkedés). A kísérletek során minden esetben egy párhuzamos mérést végeztem.

A nyírófeszültség τ (Pa) és a hozzá tartozó nyírősebesség $\dot{\gamma}$ (s⁻¹) közti kapcsolatot a Herschel-Bulkley egyenlet írja le (4):

$$\tau = \tau_0 + K \left(\frac{d\gamma}{dt} \right)^n \quad (4)$$

Ahol τ nyírófeszültség (Pa)

τ_0 – folyáshatár (Pa)

K – konzisztencia index (Pa·s)

$\dot{\gamma}$ – nyírősebesség (s⁻¹)

n – folyásindex, ami a reológiai típust jelöli

3.3.10. Az eredmények statisztikai kiértékelése

A leíró statisztikai módszerek mellett az eredményeket többtényezős varianciaanalízis (SPSS 19.0) segítségével értékeltem. Az elsőfajú hiba értéke minden esetben 5% volt. A döntéshozatal során, ha $p > 0,05$ eredményt kaptunk, akkor a vizsgált mintacsoportok közötti eltérés nem tekinthető szignifikánsnak. Ha $p < 0,05$ értéket kaptunk eredményül, akkor a mintacsoportok közötti eltérés szignifikánsnak tekinthető. Szignifikáns különbségek esetén a különböző csoportok páronkénti összehasonlításához a post-hoc tesztek közül Tukey HSD tesztet alkalmaztam.

A kísérletem első szakaszában a színmérés és a bioaktív komponensek eredményeire 2ⁿ típusú teljes faktoriális kísérlettervet (Unscrambler 9.0) futtattam.

A kísérleteim második szakaszában az elektronikus orr szenzor-jelválasz adatait az XL-Stat statisztikai program segítségével, diszkriminancia-analízissel értékeltem ki.

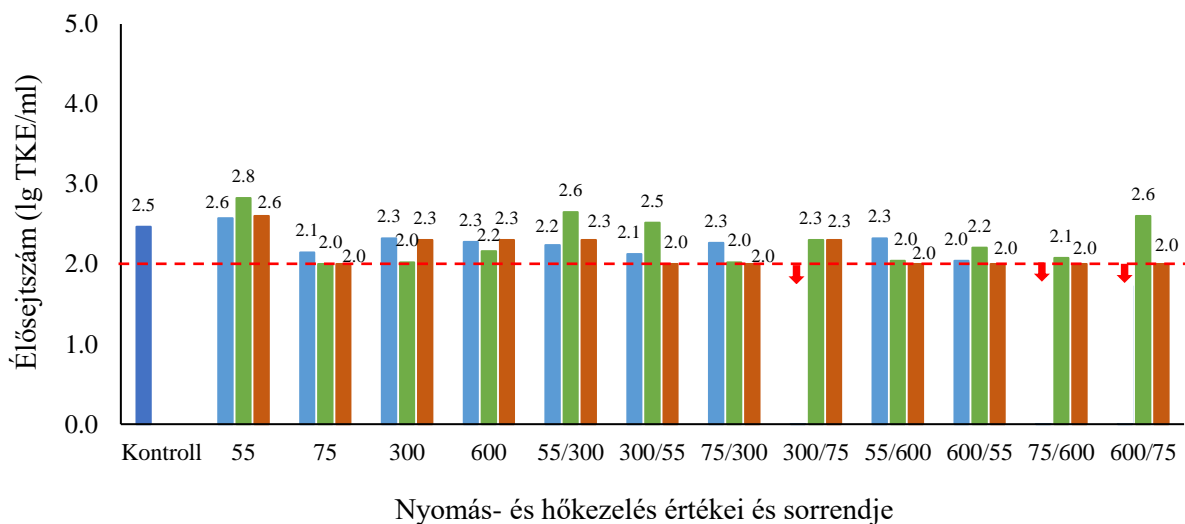
A kísérleteim harmadik szakaszában a minták reológiai tulajdonságainak vizsgálatát követően az eredményeim teljes adathalmazára többtényezős elemzést (MFA) végeztem XL-Stat statisztikai program segítségével.

4. EREDMÉNYEK

4.1. Mikrobiológiai vizsgálatok eredményei

4.1.1. Élősejtszám változása

A 25. ábra illusztrálja a szamócapüré minták élősejtszám változásának eredményeit a különböző kezelések, valamint a tárolási idő és hőmérséklet függvényében. A kezeletlen szamócapüré kiindulási összes élősejtszáma (2,5 lg TKE/ml) más szerzők kutatási eredményeihez képest (GAO et al. 2016, MARSZALEK et al. 2017, LIU et al. 2013) (4,62; 4,86; 4,39 - 4,88 lg TKE/ml, ebben a sorrendben) relatíve alacsonynak nevezhető. Azonban a kiindulási élősejtszám alacsonyabb, ha a mintákat gyorsfagyasztott alapanyagból készítették (AABY et al. 2018). Ezt a relatíve alacsony kiindulási számot alapvetően nem csökkentette drasztikus mértékben sem a hő- illetve nyomáskezelések, sem azok különböző kombinációi. Kutatásom során megállapítottam, hogy az önmagában alkalmazott 75 °C-os hőkezelés kisebb élősejtszámot eredményezett (2,1 lg TKE/ml), mint az 55 °C-os kezelés (2,5 lg TKE/ml). Ez a tendencia a kombinált kezelések esetében is beigazolódott, a 300 MPa / 75 °C illetve 600 MPa / 75 °C kombinációk esetében érték el a leghatékonyabb kezelést (1,7 lg TKE/ml).



25. ábra A szamócapürék élősejtszám változása a nagy hidrosztatikus nyomáskezelések és kíméletes hőkezelések, illetve azok különböző kombinációinak hatására:

■ Kontroll, ■ 0. nap, ■ 14 nap / 2 °C, ■ 14 nap / 15 °C
- - - - Kimutatási határérték (10^2 TKE/g)

A 14 napos tárolást követően nem tapasztaltam számottevő változásokat. Minden minta esetében a mikrobiológiai állapot a 4/1998 Eüm rendelet alapján elvárt élelmiszerbiztonsági kritérium alatt

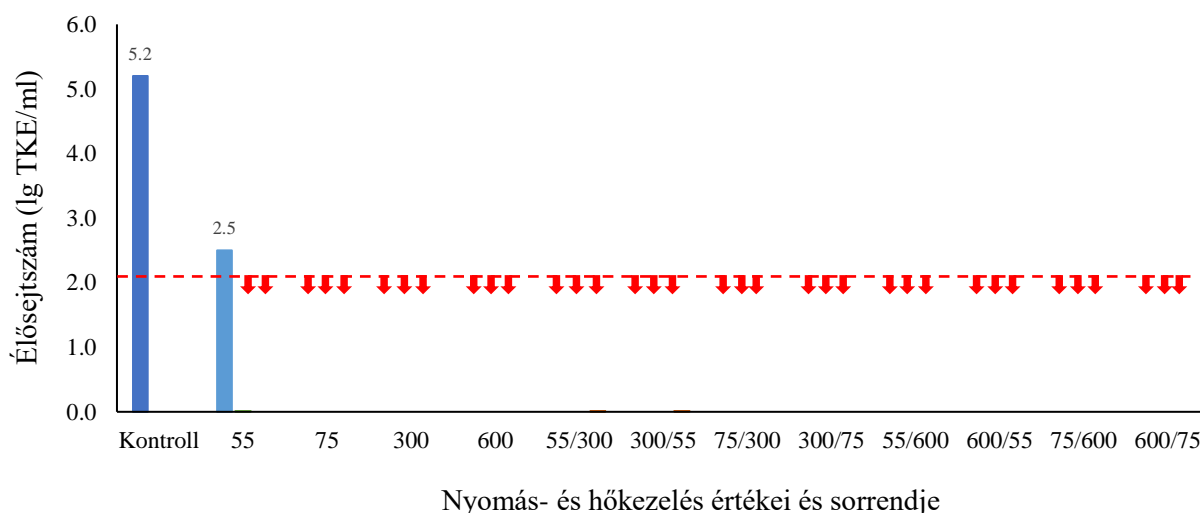
maradt (3,0 lg TKE/ml). Összességében elmondható, hogy a számacapüré mikrobiológiai állapota megfelelő volt a tárolási szakasz végén is.

A 2 és 15 °C-on tárolt minták eredményei nem különböznek igazán jelentős mértékben a 0. napi eredményektől, valamint a különböző tárolási hőmérséklet eredményei között sem lehet igazán szisztematikus összefüggést felfedezni.

4.1.2. Élesztő- és penészgombaszám változása

Az élesztő- és penészgombaszám meghatározása során a kontroll minta esetében 2,2 lg TKE/ml értéket kaptam, amely minden kezelés és kezelés-kombináció hatására a kimutatási határ alá csökkent és mindkét tárolási hőmérsékleten a kimutatási határ alatt is maradt a 14. napon mért eredmények alapján. A szakirodalom alapján az élesztőgombák és a penészgombák a nyomáskezelésre leginkább érzékeny mikroorganizmusok, teljeskörű inaktiválásuk már 200 és 400 MPa közötti nyomás alkalmazásával elérhető (HSU et al. 2008, LIU et al. 2013, GEORGET et al. 2015, HURTADO et al. 2017).

Annak érdekében, hogy a kezelésekre hatékonyaságáról teljes mértékben megbizonyosodjak, egy újabb kísérletkörben beoltást végeztem a kezelés előtt. Mivel a számaca fő romlást okozói az élesztő- és a penészgombák (SASS 1986), ezért a beoltást és a vizsgálatot erre szűkítettem le (*Botrytis cinerea*, *Rhodotorula sp.*). Az eredményeket a 26. ábra szemlélteti.



26. ábra A beoltott számacapürék élesztő- és penészgombaszám változása a nagy hidrosztatikus nyomáskezelések és kíméletes hőkezelések, illetve azok különböző kombinációinak hatására:

■ Kontroll, ■ 0. nap, ■ 14 nap / 2 °C, ■ 14 nap / 15 °C
 - - - - - Kimutatási határérték (10² TKE/g)

A beoltást követően 5,2 lg TKE/ml élősejtszámot mértem. A kezelések valóban eredményesnek bizonyultak, mivel csak az 55°C-on hőkezelt minta esetében volt a kimutatási határt meghaladó a penész- és élesztőgombaszám a 0. napon. A tárolás alatt sem jelentkeztek változások. Eredményeim összhangban vannak GAO és munkatársai (2016) által közöltekkel, akik 400 MPa-on és 75 °C-on kezelték számacapürét és vizsgálták mikrobiológiai állapotát. Azt tapasztalták, hogy a kiinduló 4,72 lg TKE/ml élesztő- és penészgomba szám kimutatási határ alá csökkent a kezelést követően és ezen a szinten is maradt a 30 napos, 25 °C-os tárolás alatt. Ezt követően már szaporodást tapasztaltak a mintában (2,58 lg TKE/ml), amit a sejtek HHP és hőkezelést követő szubletális sérülések regenerációjával magyaráztak. Hasonló sejt regenerációt és szaporodást írtak le PENAS és munkatársai (2010) savanyú káposztában, 4 hónapos tárolást követően.

Összességében elmondható, hogy az 55 °C-os kezelés kivételével minden egyéb kezelésnek köszönhetően a kimutatási határ alatt maradt az élesztő- és penészsejtszám a tárolás végéig (SALAMON et al. 2017b). Amint az várható volt, az alacsonyabb szintű kezelések kevésbé képesek eliminálni baktériumokat, valamint az élesztő- és penészgombákat, vagyis egy esetlegesen hosszabb tárolási kísérletben a magasabb szintű kezelések biztonságosabban eltartható terméket eredményezhetnek.

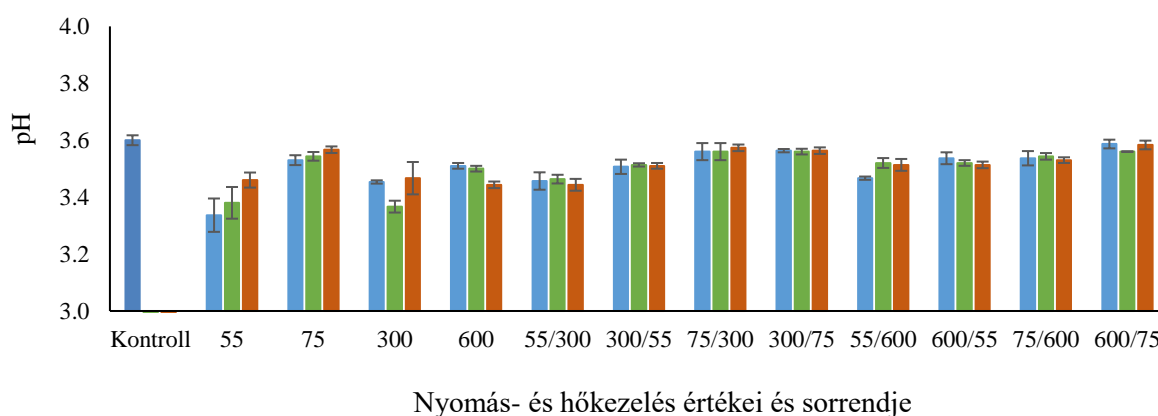
4.2. A pH érték változása

A kezelések és a tárolás során a pH értékekben bekövetkezett változásokat a 27. ábra szemlélteti. A kapott értékek párhuzamban vannak a szakirodalmi eredményekkel. SULAIMAN és munkatársainak (2013) tanulmányában a friss számacapüre pH értéke 3,31 volt, míg az általam mért pH érték 3,6 volt. Az értékek elemzése alapján megfigyelhetjük, hogy a különböző önálló és kombinált kezelések hatására kismértékben csökkentek a számacapüre pH értékei, azonban a számszerű adatokat megvizsgálva ezek mértéke egyáltalán nem nevezhető jelentősnek. TORRES és munkatársai (2016) gyümölcslevek (alma, grapefruit, narancs) esetében <0,3 értéknyi változást tapasztaltak 100-500 MPa kezeléseket követően, a különböző típusú élelmiszerek, például gyümölcsle, salátaöntet, joghurt és guacamole pH-értékének csökkenését a hidrogénkötés lebontásának és a hidrofób részek kialakulásával indokolták. Míg mérési eredményeim szerint az önálló nyomáskezelések hatására a csökkenés mértéke nem volt szignifikáns ($p = 0,130$), addig az önállóan csak hőkezelésben részesült minták esetében a csökkenések mértéke szignifikáns volt ($p < 0,005$). Ebben valószínűleg az önmagában alkalmazott 55 °C-os kezelés játszott közre leginkább, itt volt a legintenzívebb a csökkenés mértéke (pH = 3,34) a kontroll mintához képest (pH = 3,60). A statisztikai kiértékelés során a kezelések sorrendje is szignifikáns mértékű

változásokat okozott a számacapürék pH értékében ($p = 0,011$). Az először hőkezelt számacapürék pH értéke intenzívebb csökkenést mutat, mint az először nyomáskezelt változatoké, illetve az értékek legintenzívebben azon kombinált kezelések esetében csökkentek, ahol 55 °C-on végeztük a hőkezelést. Azonban a számszerű adatokat közelebbről megvizsgálva kijelenthetjük, hogy a statisztikailag kumtatható különbségek ellenére ezek nem nevezhetők igazán lényeges változásoknak.

A szórás értékeket megvizsgálva az önmagukban végzett kéméletes hőkezelések és nyomáskezelések hatására az eredmények erőteljesebben fluktuálnak, mint a kombinált kezelések esetében, mely igaz a tárolás után kapott eredményekre is. Vagyis a kombinált kezelések stabilabb pH értéket képesek biztosítani a számacapüréknek, mint az önmagukban végzett kezelések. Ez a hatás még erőteljesebbnek bizonyult, amennyiben a minta kombinált kezelésében valamelyik magasabb szintű kezelés (600 MPa vagy 75 °C) szerepelt. A 14 napos 2, illetve 15 °C-on történő hűtve tárolás nem okozott szignifikáns változásokat ($p = 0,520$) a számacapürék pH értékében. Hasonlóképpen GAO és munkatársai (2016) sem tapasztaltak szignifikáns változást a nyomáskezelt (400 MPa / 5 perc) valamint kombináltan hőkezelt (75 °C / 20 perc) számaca mintákon 15 napos 4 és 25 °C-os tárolást követően.

Az alacsonyabb pH érték a gátmélet szerint hozzájárulhat a kedvezőbb mikrobiológiai stabilitáshoz, azonban jelen termék esetében kedvezőtlenül befolyásolhatja a termék színtabilitását. Mivel a vizsgálatok során a termékek mikrobiológiai szempontból a tárolás teljes ideje alatt biztonságosak voltak, így esetünkben a pH túlzott csökkenése inkább negatív jellemzője lehet a kezeléseknak.



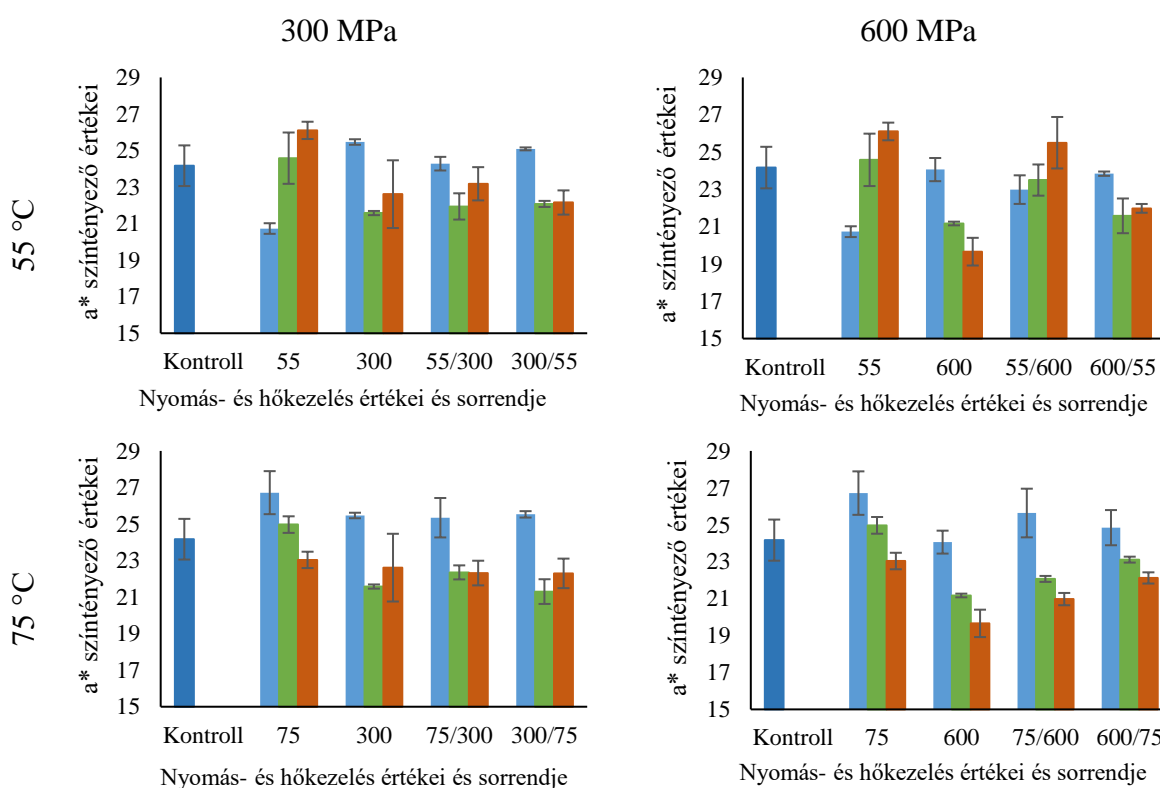
27. ábra A nagy hidrosztatikus nyomáskezelések és kéméletes hőkezelések, illetve azok különböző kombinációinak hatása a számacapürék pH értékeire:
■ Kontroll, ■ 0. nap, ■ 14 nap / 2 °C, ■ 14 nap / 15 °C

4.3. A színmérési eredményei

4.3.1. Az a* piros színkomponens változásai

A bioaktív vegyületek közül az olyan pigment anyagok, mint a karotinoidok vagy antocianinok felelősek a gyümölcsök és zöldségek alapvető színekialakításáért. A HHP kezelés (mérsékelt hőmérsékleten < 60 °C) nem, vagy csak kismértékben befolyásolja ezen vegyületek stabilitását. Magasabb hőmérsékleten történő nyomáskezelés azonban a bioaktív vegyületek bomlását okozhatja. Ennek következtében a színezete és az általános megjelenése is megváltozhat a nagy nyomással kezelt gyümölcs- és zöldség alapú termékeknek (BALASUBRAMANIAM et al. 2016). A szamóca élénkpiros színezetét leginkább jellemző a* vörös színtényező értékének változását a különböző kezelések, illetve a 14 napig tartó különböző hőmérsékleteken (2 illetve 15 °C) végzett tárolás hatására a 28. ábra szemlélteti.

A számszerű adatokat elemezve a kezeléseket követően a kontroll mintához képest ($a^* = 24,17$) az 55 °C-on kezelt minta értékei kismértékű csökkenést mutatnak ($a^* = 20,73$), mely csökkenésben közrejátszhatott az pH érték csökkenése is, mivel a pH csökkenés hatására az antocianinok képesek veszíteni az élénk piros színezetükből (CLIFFORD 2000).



28. ábra A nagy hidrosztatikus nyomáskezelések és kíméletes hőkezelések, illetve azok különböző kombinációinak hatása a szamócapürék a* színtényezőjére:

■ Kontroll, ■ 0. nap, ■ 14 nap / 2 °C, ■ 14 nap / 15 °C

Az önállóan nyomáskezelt vagy kombinált nyomás- és hőkezelésben részesített minták értékei között alapvetően nem fedezhetünk fel igazán lényeges változásokat, az oszlopok tetején feltüntetett szórás értékek hibaszámjait között lényeges átfedések vannak. Azonban a számszerű adatokat elemezve a kombinált kezelések esetében a 75 °C-os hőkezelésben részesült minták átlag értékei valamivel magasabbnak bizonyultak ($a^* = 24,84-25,64$), mint az 55 °C-on kezelt számacapüréké ($a^* = 22,99-25,09$), függetlenül az alkalmazott nyomáskezelés szintjétől. Hasonló eredményeket tapasztaltak GARCÍA-PARRA és munkatársai (2014) kombinált hő (60 – 70 – 80 °C) és nyomáskezelt (300 – 600 – 900 MPa) szilvapürék esetében. Megállapították, hogy a kombinált kezelések során a 60 °C-on kezelt pürék mutatták a legalacsonyabb értékeket, függetlenül a nyomáskezelések szintjétől.

A varianciaanalízis eredménye alapján sem a hőkezelés ($p = 0,959$), sem a nyomáskezelés ($p = 0,968$), sem pedig a kezelések sorrendje ($p = 0,449$) nem okozott szignifikáns változásokat a számacapürék élénkpiros színezetében. Ez azt jelenti, hogy a nyomás- és kéméletes hőkezelés eltérő sorrendjei sem az alacsonyabb (55 °C – 300 MPa), sem a magasabb szintű (75 °C – 600 MPa) kezelési paramétereken, sem azok egyéb kombinációiban (55 °C – 600 MPa, 75 °C – 300 MPa) nem változtatták meg statisztikailag igazoltan a számacapürék vörös színezetét. Eredményeim más szerzők kutatási eredményeivel párhuzamban állnak (RODRIGO et al. 2007), ugyanis megállapították, hogy a 65 °C-os hőkezelés és a 300 – 700MPa értékhatárok közötti nyomáskezelés nem okozott lényeges változásokat a számacalé vörös színezetében, valamint CAO és munkatársai (2011) sem tapasztaltak érdemi változásokat a vizsgált számacapép esetében 400 – 600 MPa nyomáskezelés és 70 °C-os hőkezelés kombinációja során. Hasonlóan nem tapasztaltak szignifikáns változásokat az a^* színezetben BODELÓN és munkatársai (2013) 100 – 400 MPa nyomáskezelt és 50 °C-on hőkezelt számacapürében. Ellenben az említett szerzők a kombinált kezeléseket szimultán végezték.

A 14 napos szabályozott hőmérsékleteken történő tárolást követően azonban szignifikáns csökkenés volt felfedezhető az eredményekben ($p < 0,05$). A számaca piros színezetét alapvetően az antocianinoknak tulajdonítják. Az antocianinok (pelargonidin-3-glükózid és cianidin-3-glükózid) szintje közvetlenül korrelál az a^* vörös színtényező értékével. Az antocianinok mennyiségében bekövetkező változás azonban nem az egyetlen lehetséges oka a színezetben bekövetkező változásnak. A megnövekedett enzimaktivitás, mint például polifenol-oxidáz, peroxidáz vagy glükózidáz szintén közre játszhat a színezet változásában a fenolos oxidáció során keletkező barna színvegyületek által (PATRAS et al. 2009b). Az 55 °C-os kéméletes hőkezelésben, valamint kombinált (300 vagy 600 MPa) nyomáskezelésben részesült mintacsoportok esetében a 2 °C-on tárolt minták valamivel alacsonyabb értékeket mutatnak ($a^* = 21,58-23,50$), mint a 15 °C-on tárolt minták ($a^* = 21,98-25,50$), vagyis feltételezhetően és érdekes módon az elvárásokkal

ellentétben ezen kezelés-kombinációk során a színanyagok kevésbé maradtak stabilak, így nagyobb mennyiségű színanyag degradálódhatott az alacsonyabb hőmérsékletű tárolás során. Ugyanakkor a szórásértékek alapján itt is megfigyelhetünk átfedéseket a hibasávok között, így ezen különbségek nem tekinthetők igazán lényegesnek. A statisztikai vizsgálat szerint a Tukey teszt eredménye alapján szignifikáns különbség mutatható ki a 0. napos minták és a 14 napig tárolt minták között, azonban a 2 és a 15 °C-on tárolt minták között nem volt kimutatható szignifikáns különbség (M2_1. ábra).

A 75 °C-os kíméletes hőkezelésben, valamint kombinált (300 vagy 600 MPa) nyomáskezelésben részesült mintacsoportok ezzel szemben épp ellentétes és az elvárásokhoz jobban igazodó eredményeket mutatnak, miszerint a 15 °C-on tárolt minták esetében a magasabb tárolási hőmérsékletnek köszönhetően valamelyest nagyobb mértékű lehetett a színanyagok degradációja ($a^* = 21,30-23,11$), mint a 2 °C-on tárolt mintáknak ($a^* = 20,97-22,32$). CAO és munkatársai (2012) kísérletei alapján szintén a magasabb hőmérsékletű tárolás (25 °C) intenzívebben csökkentette a számocalevek vörös színezetét, mint az alacsonyabb hőmérsékletű (4 °C).

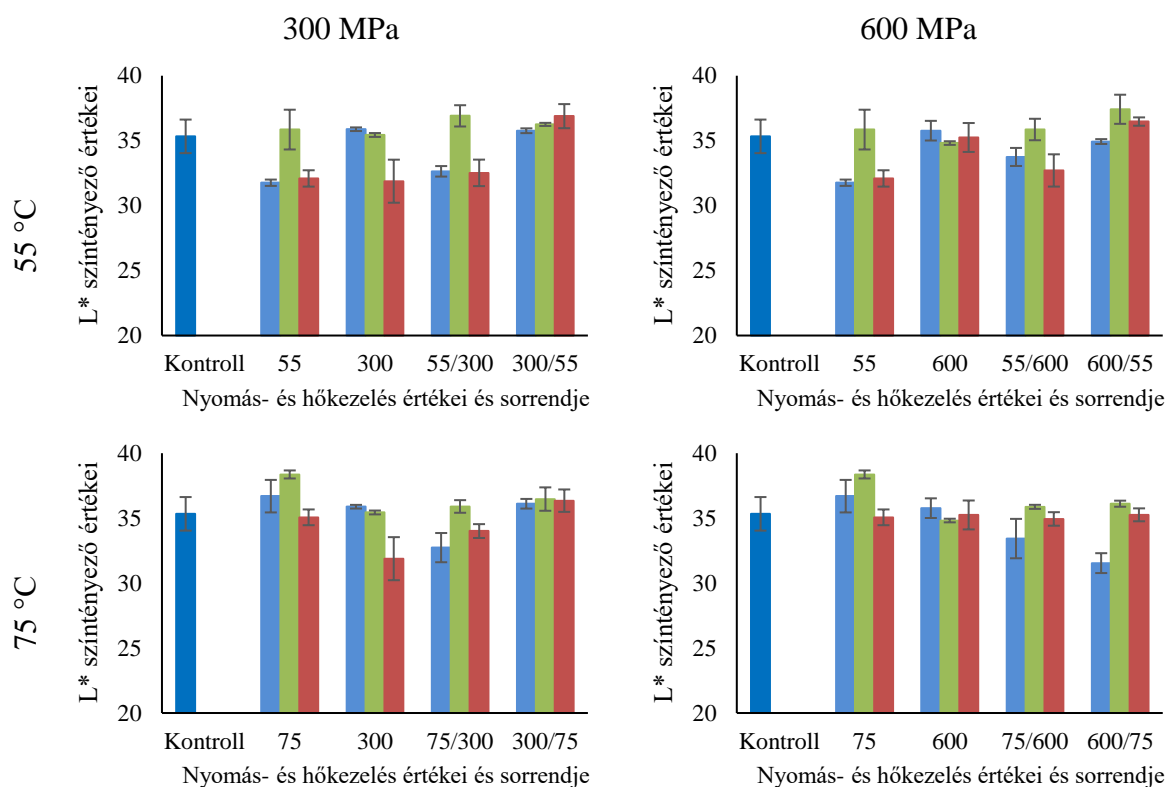
A kombinált kezelések majdnem minden esetben kiegyensúlyozottabb értéket képviseltek, mint az önállóan csak nyomás- vagy hőkezelt minták értékei, kevésbé jelentkeztek kiugró értékek, így a kombinált kezeléseknek lehetséges, hogy tulajdonítható egyfajta jótékony hatása, mely által kedvezőbb és stabilabb lehet a kezelés és tárolás soráni színmegőrzés (SALAMON et al. 2021). Ennek háttérében valószínűleg a kombinált kezeléseknek köszönhető hatékonyabb enzim inaktiválás állhat, különösen a magasabb kezelési szinteken (TEREFE et al. 2010).

Emellett megállapíthatjuk, hogy az alacsony (300 MPa, 55 °C) vagy magas (600 MPa, 75 °C) szintű kezelések sorrendjét illetően eddig nem fedezhetünk fel igazán lényegesnek tűnő változást a tárolás során.

4.3.2. Az L^* világossági színtartomány változásai

A CIE L^* értékek általában összefüggésben vannak a gyümölcs és zöldség színezetében megjelenő barnulással, ezért ezt a paramétert használják barnulási indikátorként is (SOLIVA-FORTUNY et al. 2002). Az önálló és kombinált kezelések által az L^* értékeiben bekövetkező változásokat a 29. ábra szemlélteti, melyek hasonló értéktartományban mozognak, mint TEREFE és munkatársainak (2009) eredményei 300 – 600 MPa nyomáskezelt 20 – 60 °C között hőkezelt felezett számoça esetében. Az a^* piros színtényező eredményeihez hasonlóképpen a kezelés nélküli kontroll mintához képest ($L^* = 35,33$) az önmagában 55 °C-on kezelt számoçapürék világossági tényező értékeiben kismértékű csökkenést tapasztaltam ($L^* = 31,76$), míg a magasabb hőmérsékletű 75 °C-os hőkezelés hatására az értékek növekedtek ($L^* = 36,69$). Az eredményeimhez hasonlóan

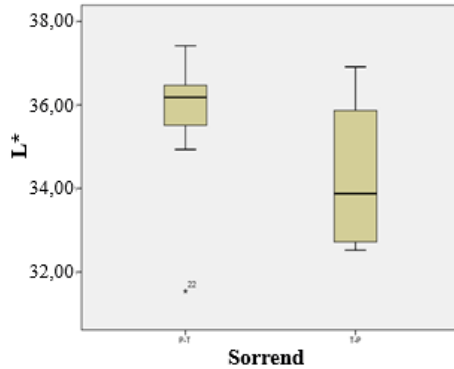
TEREFE és munkatársai (2009) kísérletében a kezelési hőmérséklet növelésének vizsgálata során az L* értékek 40 °C esetében mutatták a legalacsonyabb, míg 60 °C kezelés hatására a legmagasabb értékeket. Ugyanakkor más szerzők sütőtökpüré esetében azonos nyomásértékeken (300 és 600 MPa) a hőmérséklet emelésével (60 – 70 – 80 °C) nem tapasztaltak szignifikáns változásokat (GARCÍA-PARRA et al. 2018).



29. ábra A nagy hidrosztatikus nyomáskezelések és kíméletes hőkezelések, illetve azok különböző kombinációinak hatása a szamócapürék L* szintényezőjére:

■ Kontroll, ■ 0. nap, ■ 14 nap / 2 °C, ■ 14 nap / 15 °C

A 300 MPa, illetve 600 MPa nyomáskezelések hatására nem vélek felfedezni szembevető változást, míg a kombinált kezelések hatására az értékekben több esetben kismértékű csökkenést tapasztaltam, azonban egyértelmű tendenciákat szintén nem tapasztaltam. A varianciaanalízis eredménye alapján sem a hőkezelés ($p = 0,564$), sem a nyomáskezelés ($p = 0,471$) nem okozott szignifikáns változásokat a szamócapürék világossági színösszetevőjében. Hasonlóan nem tapasztaltak szignifikáns változásokat CAO és munkatársai (2011) 500 – 600 MPa nyomáskezelt, illetve 70 °C-on hőkezelt szamócapép esetében.



30. ábra Az L^* értékek közötti eltérés mértéke sorrend szerint

Azonban ha azt vizsgáljuk, hogy számít-e a kezelések sorrendje, akkor a varianciaanalízis eredménye szerint ($p = 0,005$), a különbségek szignifikánsnak nevezhetők.

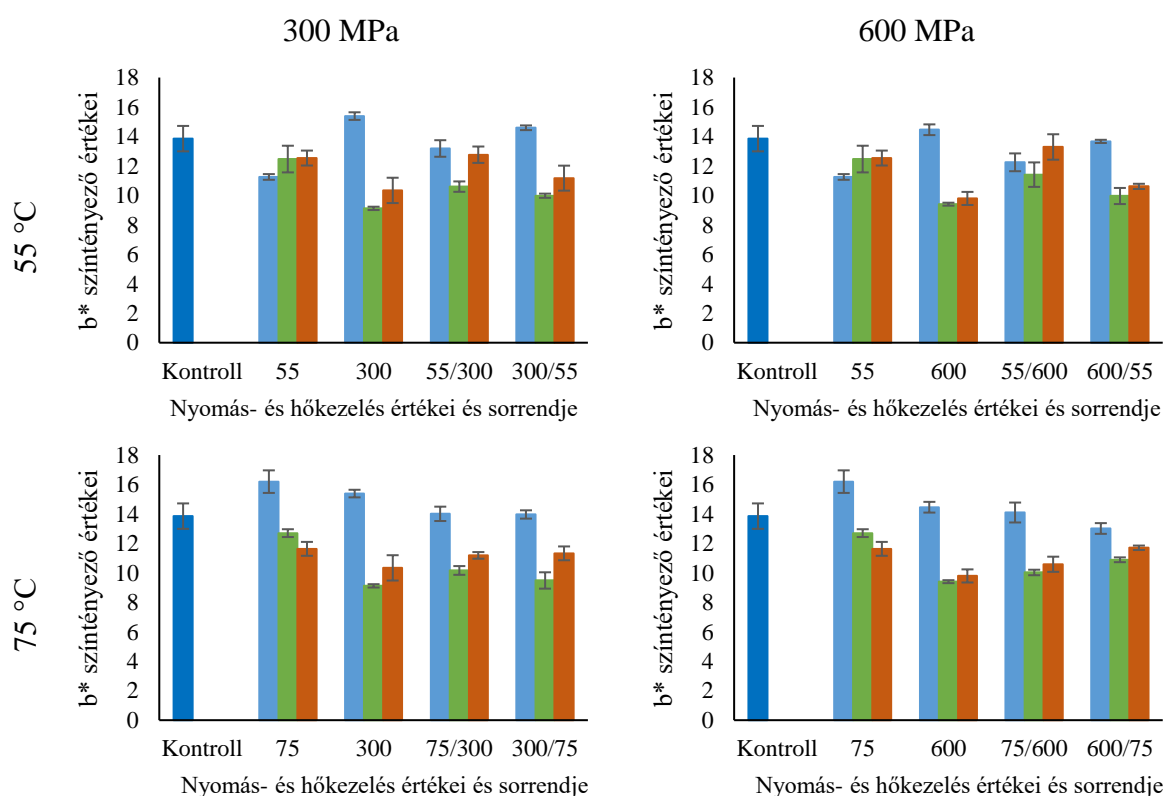
A 30. ábrán box-plot diagramon szemléltetve a kezelések sorrendje szerint elkülönített adatokat, az L^* értékek az először hő- majd nyomáskezelt minták esetében a mért eredmények láthatóan szélesebb adattartományban helyezkednek el, mint a fordított sorrendben kezelt mintáknál. Az ábrákon az adatsávok magukban foglalják az összes eredmény ábrázolását. Ez alól kivételt képez néhány adat, melyek kiugró értékük

miatt a megadott tartományokon kívül szerepelnek, és mivel valószínűleg jelentős mértékben torzítanak az eredményeket, ezért a számításokban nem szerepelnek. A zöld területek alsó és felső határa az adattartomány két kvartilisét ábrázolja, a zöld tartományokon belül található vízszintes vonalak pedig az eredmények középértékeit magyarázzák. Az először nyomáskezelt majd hőkezelt minták értékei közelebbi értékeket mutatnak a kontroll ($L^* = 35,33$) mintához képest (a kiugró 600 MPa / 75 °C-os kezelés értékét leszámítva), vagyis ebben a sorrendben a számcapürék színezete világosság tekintetében jobban hasonlít a kontroll mintához, azonban a számszerű adatokat megvizsgálva ezek a különbségek még nem nevezhetők igazán jelentősnek.

A 14 napig tartó 2 °C-os tárolás következtében az hőkezelt minták (55 és 75 °C) L^* értékei növekedtek, vagyis a számcapürék enyhén világosabb színezetet mutatott. A nyomáskezelt (300 és 600 MPa) minták világossági tényezője a kontroll mintához képest nagyon hasonló eredményt mutatott. A különböző kombinált kezeléseken átesett számcapüré minták esetében a 2 °C-os tárolás hatására világosabb lett a minták színezete, mint az azonos kezeléseket követő eredmények mutattak. A varianciaanalízis szerint a tárolás szignifikáns változásokat okozott a számcapürék világossági tényezőjében ($p = 0,002$). A változásokat részletesebben is megvizsgálva a Tukey teszt alapján a 0. napi minták és a 2 hétig 2 °C-on tárolt minták között látható szignifikáns különbség. A tárolást követően a számcapürék L^* értékei magasabbak voltak. BODELÓN és munkatársai (2013) hasonló növekedésről számoltak be 300 – 400 MPa nyomáskezelt és 50 °C-on hőkezelt számcapürék esetében 5 °C-on történő hűtve tárolást követően. Emellett PATRAS és munkatársai (2011) is arról számoltak be, hogy a magasabb, 15 °C-os hőmérsékletű tárolás hatására a számcadzsemek világossága alacsonyabb értékeket mutatott mint, 4 °C-os tárolás hatására. A tárolás nélküli és a 15 °C-on tárolt minták között nem tapasztaltunk szignifikáns eltérést (M2_2.ábra).

4.3.3. A b* sárga színkomponens változásai

A b* sárga színösszetevő önálló és kombinált kezelések és eltérő tárolási hőmérsékletek hatására bekövetkező változásait a 31. ábra szemlélteti. Az önállóan csak hőkezelésnek kitett minták jelen esetben is követik az előző fejezetekben tapasztalt tendenciát, miszerint az alacsonyabb 55 °C-os kezelés hatására csökkent a sárga színezetet jelölő b* érték ($b^* = 11,25$), míg a 75 °C-os kezelés hatására növekedett ($b^* = 16,19$) a kezeletlen számacapüré mintához képest ($b^* = 13,85$). A 300 és 600 MPa kezelések esetében növekedést tapasztalhatunk. TEREFE és munkatársai (2009) kombinált 300 – 600 MPa nyomáskezelt és 20 –60 °C hőkezelt felezett számaca esetében a magasabb kezelési hőmérsékleten szintén magasabb b* értékeket tapasztaltak, de egyik esetben sem voltak szignifikánsok a változások. Akárcsak CAO és munkatársai (2011) esetében sem számacapép kezelése során 500 – 600 MPa és 70 °C-os hőkezelést követően. Az általam elvégzett különböző szintű és sorrendű kombinált kezelések esetében azonban nem vélek felfedezni egyértelmű tendenciát, se lényeges változásokat, melyeket a varianciaanalízis eredménye is alátámaszt: a hőkezelés ($p = 0,468$), a nyomáskezelés ($p = 0,822$), valamint a kezelések sorrendje ($p = 0,441$) nem okozott szignifikáns változásokat a számacapürék sárga színezetében.



31. ábra A nagy hidrosztatikus nyomáskezelések és kíméletes hőkezelések, illetve azok különböző kombinációinak hatása a számacapürék b* színtényezőjére:

■ Kontroll, ■ 0. nap, ■ 14 nap / 2 °C, ■ 14 nap / 15 °C

A 14 napos tárolás során az önállóan 55 °C-os kezelésben részesült mintától eltekintve minden esetben csökkent a b^* érték, vagyis a számócapürék veszítettek sárga színezetükből. A csökkenés mértéke szignifikánsnak tekinthető ($p < 0,005$).

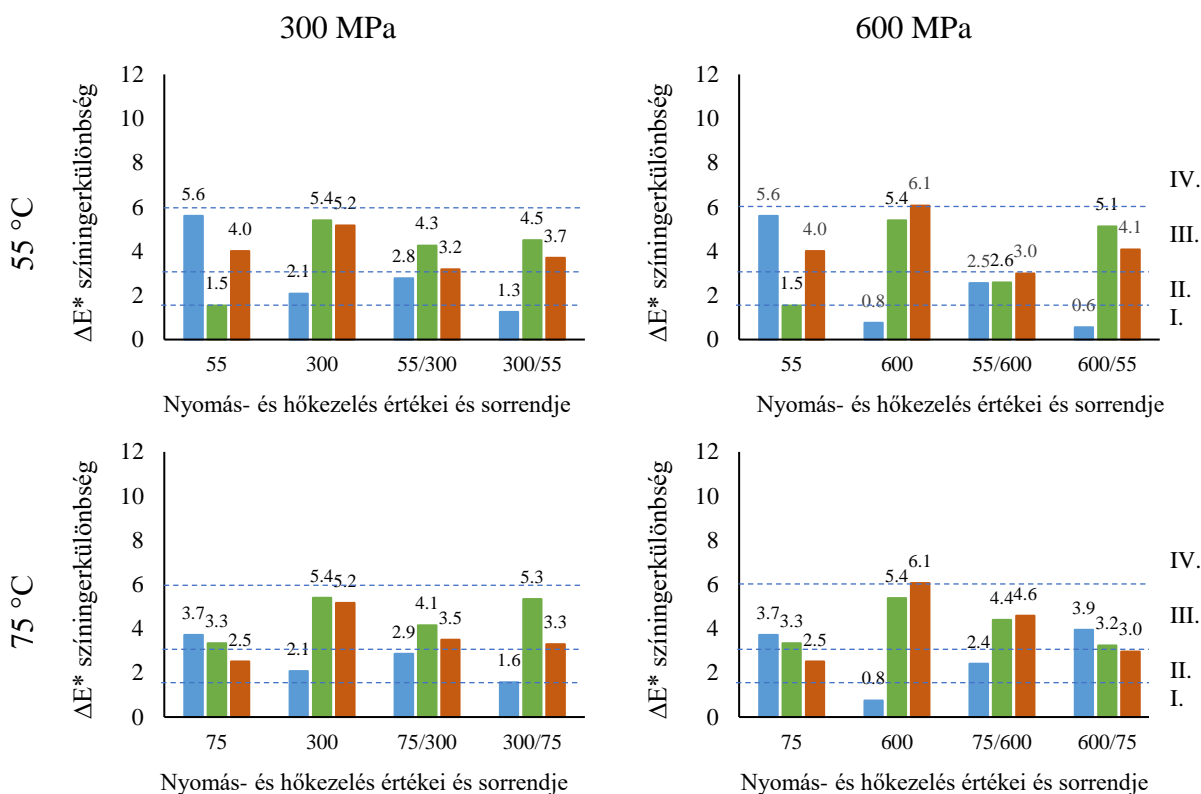
A 75 °C-os minta kivételével az összes esetben a 2 °C-on tárolás alacsonyabb b^* értékeket eredményezett, mint a 15 °C-os tárolás, a várakozásokkal ellentétben. CAO és munkatársai (2012) hasonlóképpen magasabb b^* eredményeket tapasztaltak 1 hónapos tárolást követően 25 °C-on, mint 4 °C-on 600 MPa kezelt számócalé esetében.

A Tukey teszt alapján ugyan megállapítható, hogy mind a három csoport (0 nap, 14 napig tárolt 2 °C, illetve 15 °C) szignifikánsan eltér egymástól (M2_3. ábra), mégis a szám adatok alapján ezek nem tekinthetők lényeges változásoknak. A különböző kezelés-kombinációk sorrendje között nem vélek felfedezni jelentős különbséget.

4.3.4. A színíngerkülönbség értékek változásai

Az L^* , a^* és b^* értékek önállóan a színezetnek csak egy bizonyos aspektusáról adnak eredményt, azonban a teljes színezetre nézve informatívabb ΔE^* színíngerkülönbség értékelését (a kezelés nélküli eredményekhez képest) láthatjuk a 32. ábrán. Az ábrán szaggatott vonallal jelöltem az emberi szem számára látható különbség kategóriákat az 1. táblázat alapján. A kezeléseket követően az önálló kéméletes hőkezeléseknek köszönhetően (55 és 75 °C-on) nagyobb mértékű változások történtek a színezetben, mint a nyomáskezelések (300 és 600 MPa) hatására. Előbbi esetben a változások számszerűsített értékei ($\Delta E^*_{55} = 5,6$; $\Delta E^*_{75} = 3,7$) a „jól látható” kategóriákba estek, míg a nyomáskezelt minták értékei az „észrevehető” ($\Delta E^*_{300} = 2,1$) illetve az alig észrevehető” ($\Delta E^*_{600} = 0,8$) tartományokba tartoznak.

Hasonló eredményeket értek el PATRAS és munkatársai (2009b), 400 – 600 MPa kezelt számócapürék esetében a $\Delta E^* = 2,5$ érték alatt maradt, míg a 70 °C / 2 perc hőkezelt minta értéke $\Delta E^* = 5,67$ volt. Kísérletemben a kombinált kezeléseket esetében a sorrendet illetően a páronkénti összehasonlítások alapján az először hőkezelt majd nyomáskezelt minták ΔE^* értékei egy kategóriával rendre magasabb kategóriába estek (a 600 MPa / 75 °C kezeléskombináció kivételével), mint az először nyomáskezelt majd hőkezelt párjaik, vagyis általánosságban az először nyomáskezelt majd hőkezelt variációk előnyösebbnek bizonyultak. BARBA és munkatársai (2013) azt tapasztalták, hogy ha a ΔE^* együttható magasabb mint 1,5, akkor már a tapasztalattal nem rendelkező, képzetlen érzékszervi bíráló is észreveheti a minták közötti színezetbeli különbségeket. Ugyanezt a határértéket CSERHALMI és munkatársai (2006) tapasztalataik alapján $\Delta E^* = 3$ értéken határozták meg. Az érzékszervi bírálatok során ez a kísérleti eredményeimben megmutatkozott, melyeket a 4.6. fejezetben fejtek ki bővebben.



32. ábra A nagy hidrosztatikus nyomáskezelések és kíméletes hőkezelések, illetve azok különböző kombinációinak hatása a számacapürék közti ΔE^* színingerkülönbségre (a kezelés nélküli eredményekhez képest):

■ 0. nap, ■ 14 nap / 2 °C, ■ 14 nap / 15 °C

I. nem, vagy csak alig vehető észre (0-1,5); **II.** észrevehető (1,5-3); **III.** jól látható (3-6); **IV.** nagy (6-12)

Érdekes összefüggéseket mutat, hogy a kombinált kezelések esetében a nyomás, illetve a hőmérséklet fokozásával szinte egyik esetben sem növekedtek jelentősen a ΔE^* értékei, 300 MPa / 55 °C – 600 MPa / 55 °C összehasonlítása esetében még jelentősen csökkent is, akárcsak 75 °C / 300 MPa – 75 °C / 600 MPa esetében is. Azonban 600 MPa / 55 °C – 600 MPa / 75 °C összehasonlítása során láthatjuk, hogy a ΔE^* értéke jelentősen megnövekedett. GARCÍA-PARRA és munkatársai (2014) tapasztalatai alapján a nyomás fokozása nem (300 – 600 – 900 MPa), sokkal inkább a hőmérséklet fokozása (60 – 70 – 80 °C) játszott döntő szerepet a ΔE^* értékek növekedésében HPT kezelt szilvapürék esetében. A varianciaanalízis eredménye alapján ugyanakkor sem a hőkezelés ($p = 0,301$), sem a nyomáskezelés ($p = 0,834$), sem pedig a kezelések sorrendje ($p = 0,881$) nem okozott szignifikáns változásokat a számacapürék színingerkülönbségében.

A 14 napos tárolást követően a legtöbb esetben szignifikánsan növekedtek a színingerkülönbség értékek ($p < 0,005$), vagyis intenzívebb volt a színezet változása. MARSZALEK és munkatársai (2017) hasonlóan szignifikáns változásokat tapasztaltak az 500 MPa 50 °C-on kezelt 6 °C-on 2 hétig tárolt számacapüré minták ΔE^* értékeiben, melyeket elsődlegesen az a^* és b^* értékeiben

bekövetkező csökkenéssel hoztak összefüggésbe, melyeket elsősorban a szöveti enzimek (polifenol-oxidázok és peroxidázok) aktivitásának tulajdonítottak. Azonban a 2 °C-os és 15 °C-os tárolást nem lehet élesen elkülöníteni egymástól. A kezelések sorrendjét vizsgálva az egyes mintapárok között nem igazán lehet egyértelmű tendenciákat megfigyelni. Azonban a 2 °C-os tárolás több esetben is nagyobb színinger különbség értékeket képvisel, mint a 15 °C-on tárolt párjai, mely az elvárásokhoz képest ellentétes eredményt tükröz. A Tukey teszt alapján a 2 és 15 °C hőmérsékletű tárolás között a különbségek már nem szignifikánsak (M2_4. ábra).

Az önállóan 55 °C-on hőkezelt, kezdeti illetve 600 MPa nyomáskezelt 2 hétig 15 °C-on tárolt minták adják a legmagasabb értékeket ($\Delta E^*_{55} = 5,6$ és $\Delta E^*_{600} = 6,1$), vagyis a változások mértéke leginkább az „észrevehető” illetve „jól látható,” kategóriákon belül marad, és csak egy kivétellel lépi át a „nagy” színkülönbség kategória alsó határát.

A 4. táblázat a páronkénti összehasonlításban mutatja be a ΔE^* színingerkülönbség értékeket, azok adott napi eltérő sorrendű kezeléseinek mérési értékeit egymáshoz viszonyítva. Az alacsony szintű kezelések esetében (300 MPa / 55 °C – 55 °C / 300 MPa) a sorrendeket összehasonlítva a kezeléseket, illetve a 14 napos 15 °C-on történő tárolást követően a szín mérés számított értékek alapján a különbségek a „jól látható kategóriába” esnek, azonban ahogy növeljük kezelési hőmérsékletet vagy a nyomás szintet a kapott értékek egy kategóriával alacsonyabb besorolásba esnek. A 2 °C-on történő tárolást követően a párok között egy kivételtől eltekintve alig észrevehető a különbség. Ezek alapján a magasabb szintű kombinált kezelések stabilabban megőrizhetik a szamócapürék színezetét, mely valószínűleg a hatékonyabb enzim inaktiválásnak és a tárolás során kevesebb barna színanyag keletkezésének köszönhető (CAO et al. 2012).

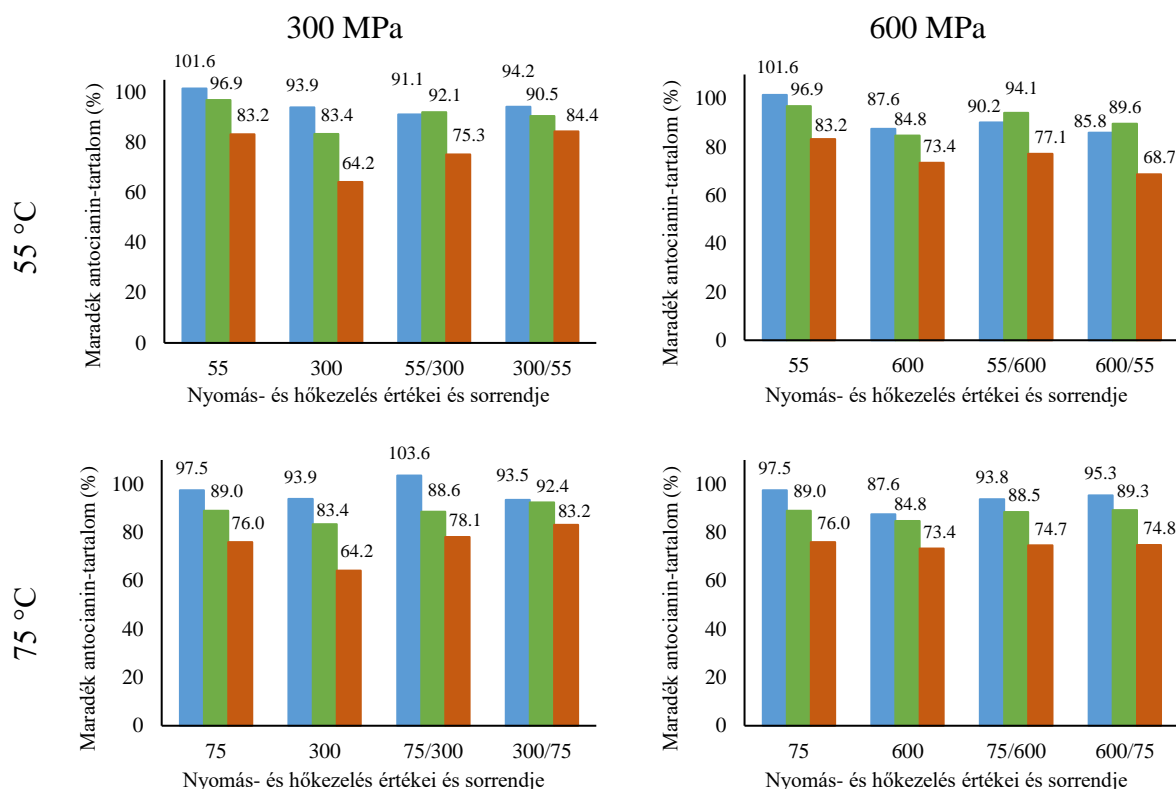
4. táblázat A ΔE^* színingerkülönbség páronkénti összehasonlítása a kezelések sorrendjének függvényében (■ Alig észrevehető kategória (0,5-1,5), ■ észrevehető kategória (1,5-3,0), ■ jól látható kategória (3,0-6,0))

ΔE^* páronkénti összehasonlítása	0.nap	14 nap / 2 °C	14 nap / 15 °C
55 °C - 300 MPa / 300 MPa - 55 °C	3,52	0,91	4,76
75 °C - 300 MPa / 300 MPa - 75 °C	3,38	1,37	2,34
55 °C - 600 MPa / 600 MPa - 55 °C	2,04	2,87	5,80
75 °C - 600 MPa / 600 MPa - 75 °C	2,32	1,38	1,63

4.4. A bioaktív komponensek méréseinek eredményei

4.4.1. Az antocianin mérés eredményei

Az antocianin-tartalom eredményeket a 33. ábrán, a könnyebb összehasonlíthatóság érdekében a kezeletlen mintához képest százalékos értékekkel ábrázolva figyelhetjük meg. A kontroll minta antocianin-tartalma 268,4 mg/L volt. A különböző kezelések hatására a legtöbb kezelést követően kismértékben csökkent a minták antocianin-tartalma.



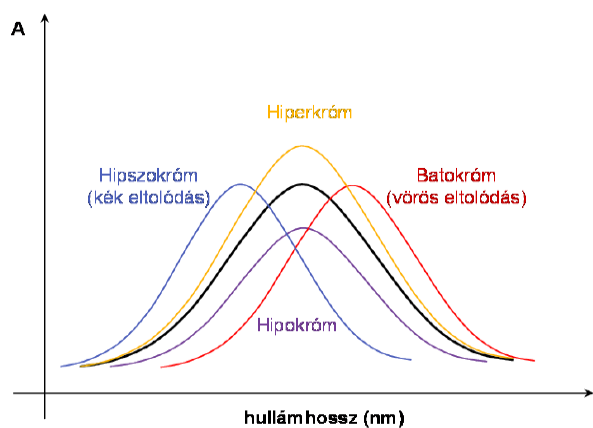
33. ábra A nagy hidrosztatikus nyomáskezelések és kíméletes hőkezelések, illetve azok különböző kombinációinak hatása a számócapürék antocianin-tartalmára:

■ 0. nap, ■ 14 nap / 2 °C, ■ 14 nap / 15 °C

A varianciaanalízis eredményei alapján a nyomáskezelés szignifikánsan befolyásolta a számócapürék antocianin-tartalmát ($p=0,033$), a 300 MPa kezelés hatására az antocianin-tartalom 6,1%-kal, míg a 600 MPa kezelést követően kicsit több mint a duplájával, 12,4%-kal csökkent. Ezzel szemben ZABETAKIS és munkatársai (2000b) nem tapasztaltak változást a nyomáskezelt számócalevek antocianin-tartalmában. Kutatásomban a hőkezelések nem jártak együtt szignifikáns változásokkal ($p=0,247$). TEREFE és munkatársai (2013) mind nyomáskezelés (400 – 600 MPa) mind hőkezelés (88 °C / 2 perc) esetében szignifikáns csökkenést tapasztaltak, melyek mértéke 20-28%, illetve 22-25% volt számócafajtától függően. Más szerzők ugyancsak a 400 –

600 MPa nyomáskezelés alkalmazásánál nem tapasztaltak szignifikáns változásokat, ugyanakkor a számacapüré 70 °C-os hőkezelését követően az antocianinok 22% illetve 27,9%-os csökkenését mérték (PATRAS et al. 2009b, CAO et al. 2011).

A lebomlás sebessége és mértéke olyan külső tényezőktől függ, mint a tartósítás és tárolás hőmérséklete, az oxigén, aszkorbinsav vagy fény jelenléte stb., valamint a termék olyan belső tulajdonságaitól, mint a pH, az antocianinok szerkezete, fémionok, illetve az antocianinok lebontásában szerepet játszó oxidatív enzimek, mint polifenoloxidáz, a peroxidáz és a β -glükózidáz jelenléte (MAZZA, MINIATI 1993, PATRAS et al. 2010, SRIVASTAVA et al. 2007). Átfogó kutatásokat végeztek az antocianin stabilitással és azok lebontási mechanizmusainak megértésével kombinált nyomás/hőmérséklet (HPT) kezelés során is. Az eredmények alapján elképzelhető, hogy a nyomáskezelés elősegítette olyan kondenzációs reakciók végbemenetelét, melyek hatására fokozódhatott az antocianinok degradációs mechanizmusa (BUCKOW et al. 2010). Kombinált nyomás- és hőkezelés hatására cianidin-3-glükózid degradációról számoltak be olyan kondenzációs reakciók eredményeképpen, ahol antocianinok piruváttal történő cikloaddíciós reakció termékeként A-típusú Vitisin származékot képeznek. Az ilyen kondenzációs reakciók eredményeként létrejövő cikloaddíciós termékek az UV-látható spektrum hipszokróm elmozdulását eredményezi, ami egy élelmiszertermék elszíneződését okozza (CORRALES et al. 2008b).



34. ábra Spektrális eltolódások (KUZMA et al. 2014)

A gyakorlatban ez a spektrális eltolódás a rövidebb hullámhosszak felé (34. ábra), vagyis a termék fényelnyelése a kisebb hullámhossztartomány irányába tolódik el (kék eltolódás). Hasonló kondenzációs reakciók lehetségesek, ha az antocianinok kovalens kötéssel társulnak a gyümölcslemben található más flavonolokhoz, amelyek új pirángyűrű kialakulásához vezethetnek (TIWARI et al. 2009a).

Bár a nagy nyomás hozzájárul az antocianinok bomlási sebességének a növekedéséhez, a rövidebb ideig tartó kombinált nyomás és hőkezelés (HPT) hatására az esetek nagyrésztében kisebb a behatás mértéke, mint egy egyenértékű hőkezelési folyamatnak (VAN DER PLANCKEN et al. 2012).

A kezelések sorrendje ($p = 0,750$) ugyan nem okozott szignifikáns változásokat, de a grafikonon ábrázolt eredményeket megvizsgálva a többi kezelés vagy kezelés kombináció esetében is hasonló

mértékű csökkenés volt megfigyelhető (kb 5 – 15%), akárcsak VERBEYST és munkatársainak (2010) tanulmányában.

Az 55 °C-os, valamint a 75 °C / 300 MPa kombinált kezelés esetében a minták antocianin-tartalma pedig még meg is haladta a kiindulási állapotot (101,6% illetve 103,6%). Korábbi kutatási eredményeim alapján szintén tapasztaltam ilyen jellegű változásokat (SALAMON et al. 2017a). Szakirodalmi vizsgálatok alapján elképzelhető, hogy az egyes kezelések hatására megváltozott az antocianin vegyületek extrahálhatósága a sejtfalak permeabilitásában bekövetkező változásoknak köszönhetően, illetve maguk az antocianin vegyületek és a környező mátrixban lévő vegyületek tulajdonságainak megváltozása is közrejátszhat a nagyobb mértékben. Ezenkívül okozhatják a nagy nyomás hatására bekövetkező változások a kémiai/enzimes reakciókban vagy a maradék enzimaktivitások, amelyek befolyásolják a vegyület lebonthatóságát (JUNG 2016). Az élelmiszer-mátrixtól függően e hatások némelyikének nagyobb következményei lehetnek az extrahálhatóságra, és potenciálisan mindezek a paraméterek, de eltérő mértékben befolyásolják a folyamat hatását a vegyület végső koncentrációjára egy kivonatban.

Egyes kutatások a magasabb extrakciós hozamokat illetően a HP-kezelés által megfigyelt javított extrakciót elsősorban a sejtstruktúrában bekövetkező változásoknak tulajdonították. Bár a fehérjékre és a sejtek szerkezetére hatással van a nyomás, a kis molekulatömegű vegyületek szerkezete és biológiai aktivitása nem változik (DÖRNENBURG, KNORR 1993, LOPES et al. 2010).

A karotinoidok is jól megőrződnek, ha a nyomáskezelést magas hőmérsékletekkel kombinálják, vagy akár meg is növekedhet a kimutatható mennyiségük, vagyis a HPT képes fokozni a karotinoidok extrakcióját, akár a nyomás fokozásával járó hőmérséklet-emelkedésnek köszönhetően (OEY et al. 2008), illetve az egymást követő hőkezelés és nyomáskezelés elvégzésekor (CONTADOR 2014).

Gránátalma-lében FERRARI és munkatársai (2010) arról is beszámoltak, hogy az antocianinok hasonlóak vagy magasabbak voltak, mint a friss gyümölcsle becslött tartalma 50 °C-on végzett 600 MPa-os kezelés után. FERRARI és munkatársainak (2010) a megfigyelései arra engednek következtetni, hogy az antocianinok lebomlását katalizáló enzimek aktivitása csökkenhet a nyomáskezelés során, és a folyamat javíthatja az extrahálhatóságot, ami megnövekedett antocianin-koncentrációt eredményezhet.

A kombinált kezelések esetében a 300 MPa / 55 °C, illetve a 600 MPa / 75 °C kombinációját alkalmazó kezeléseknél az először nyomás- majd hőkezelést alkalmazó esetek bizonyultak eredményesebbnek (94,2% illetve 95,3%). Míg azokban az esetekben, ahol az 55 °C / 600 MPa, valamint a 75 °C / 300 MPa kombinációját alkalmaztunk, az először hő- majd nyomáskezelt

minták értékei bizonyultak jobbnak (90,2% illetve 103,6%). Ezek alapján nem egyértelműen eldönthető, hogy melyik sorrend a kedvezőbb.

Ha az eredményeket más szemszögből közelítjük, akkor akár a nyomást (300 MPa-ról 600 MPa-ra), akár a hőmérsékletet fokoztuk (55 °C-ról 75 °C-ra) egyértelmű növekvő vagy csökkenő tendenciát nem tapasztalunk egyik esetben sem, a kapott értékek eltérő módon változnak. A szakirodalmi adatok alapján a nyomáskezelés fokozásának hatása kevésbé volt intenzív az antocianin degradációra, mint a kezelési hőmérséklet fokozásának hatása (CORRALES et al. 2008).

Ezzel ellentétben VERBEYST és munkatársai (2010) megfigyelései alapján a nyomáskezelés fokozása (0 – 700 MPa) kedvezőtlenebbül hatott, mint a kezelési hőmérséklet fokozása (95 – 130 °C), bár ők lényegesen magasabb hőmérséklettartományban végezték a kezeléseket számacakrémeken.

A 14 napos tárolást követően a minták antocianin-tartalma tovább csökkent, mely csökkenés szignifikáns mértékű volt ($p < 0,05$). A 2 °C-on kivitelezett tárolás esetében 3,1 – 16,6%-kal, míg a 15 °C-os tárolást követően 15,6 – 35,8%-kal, mely jelentős különbséget mutat. A 33. ábra is jól szemlélteti, hogy az alacsonyabb hőmérsékletű tárolás kedvezőbb volt a minták antocianin-tartalmának megőrzése szempontjából, mint a magasabb hőmérsékletű tárolás. Hasonlóan kedvezőtlenebb volt a magasabb tárolási hőmérséklet (25 °C) CAO és munkatársai tanulmányában (2012) mint az alacsonyabb, 4 °C-on végzett tárolás. A Tukey teszt eredménye alapján (M2_6. ábra) a 2 °C-on tárolt minták eredményei nem különböztek szignifikánsan a tárolás nélküli minták eredményeitől, míg a 15 °C-on tárolt minták antocianin-tartalma szignifikánsan különbözött az előzőektől. TEREFE és munkatársai (2009) $27 \pm 10\%$ -os antocianin-tartalom csökkenésről számoltak be tanulmányukban kombinált nyomás (300 – 600 MPa) és hőkezelésben (20 – 60 °C) részesített számacapüré esetében 3 hónapos 4 °C-os hűtve tárolást követően, melyet az oxidatív PPO és POD enzimek maradék aktivitásának tulajdonítottak.

Az antocianinok a nyomáskezelte zöldség és gyümölcs alapú élelmiszerekben nem stabilak a kezelést követő tárolások alatt. Különböző mechanizmusok vesznek részt az antocianin instabilitásában a nyomás alatt lévő élelmiszerek tárolása során. Az első feltételezett mechanizmus a gyümölcsökben az antocianin bomlást katalizáló enzimek nem teljes inaktiválódásának tulajdonítható. A leggyakrabban érintett enzimek a polifenol-oxidáz (PPO), peroxidáz (POD) és β -glükózidáz. Számos tanulmány kimutatta, hogy a polifenol-oxidáz és kisebb mértékben a peroxidáz aktivitása felelős az antocianinok és más számacákban található polifenolok lebontásáért (CHISARI et al. 2007, LOPEZ-SERRANO, BARCELO 2002, WESCHE-EBELING, MONTGOMERY 1990).

A polifenol-oxidáz két különböző reakciót katalizál molekuláris oxigén jelenlétében: a monofenolok o-difenolokká történő hidroxilezése (monofenoláz, krezoláz vagy hidroxiláz aktivitás) és az o-difenolok o-kinonokká történő oxidálása (difenoláz, katekoláz vagy oxidáz aktivitás) (TOMAS-BARBERAN, ESPIN 2001). A sárga színű o-kinonok nagyon instabilak, így vagy nagy molekulatömegű polimerekkel reagálnak, vagy makromolekuláris komplexet alkotnak aminosavakkal és fehérjékkel (VÁMOS-VIGYÁZÓ 1981, RAMASWAMY, RIAHI 2003). Ezen átmeneti vegyületek nem enzimatis polimerizációja és az o-kinonok kondenzációja különböző fekete, barna vagy vörös pigmenteket eredményez, amelyeket általában melaninoknak nevezünk (RAMASWAMY, RIAHI 2003, TOMAS-BARBERAN, ESPIN 2001).

A peroxidáz katalizálja a fenolos vegyületek oxidációját hidrogén-peroxid jelenlétében mely barna lebomlási termékek képződéséhez vezet. A PPO igen valószínű, hogy elősegítő szerepet játszik a POD aktivitásában, mivel hidrogén-peroxid keletkezik a fenolos vegyületek PPO katalizált oxidációja során (TOMAS-BARBERAN, ESPIN 2001). Az antocianinok is reagálnak az erősen reaktív PPO oxidációs termékekkel, az o-kinonokkal és barna lebomlási termékeket állítanak elő (ZHANG et al. 2005).

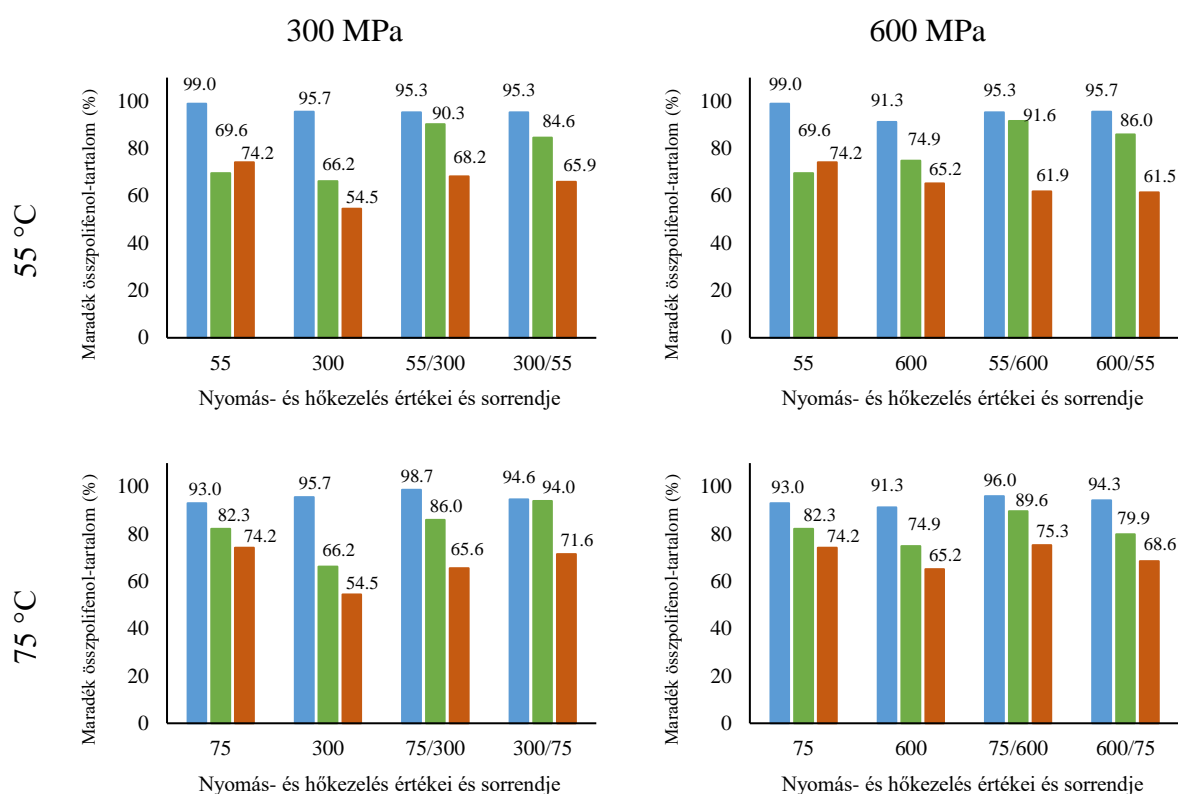
A tárolás során az antocianin instabilitásában szerepet játszó második mechanizmus az antocianinok szelektív lebontásáért felelős β -glükózidáz specifikitásán alapul. ZABETAKIS és munkatársai (2000) kimutatta, hogy a HHP-vel kezelt szamócában a maradék β -glükózidáz aktivitás azonos szintjén a pelargonidin-3-glükozid nagyobb mértékben lebomlott, mint a pelargonidin-3-rutinozid.

Kutatásomban csak 14 napig tartott a hűtve tárolás, azonban a hosszabb eltarthatóság biztosításához az enzimek teljeskörűbb inaktivációjával a szakirodalom szerint ajánlott a magasabb szintű nyomás és hőkezelés. A szövetekben vagy a modelloldatban a 70 °C és 90 °C közötti rövid expozíció a legtöbb esetben megfelelő a PPO részleges vagy teljes inaktiválásához (VÁMOS-VIGYÁZÓ 1981). Nyilvánvaló, hogy a PPO hőstabilitása a forrástól függ (faj, valamint termesztés körülményei). GARCÍA-PARRA és munkatársai (2014) kombinált nyomás (300 – 600 – 900 MPa) és hőkezelést (60 – 70 – 80 °C) piros szilva püré esetében a 600 MPa / 70 °C-os kezelést találták a legmegfelelőbbnek a PPO enziminaktiválás és a bioaktív komponensek megőrzése tekintetében.

A kombinált kezelések szintjeit és sorrendjét illetően egyértelmű következtetéseket nem tudunk levonni.

4.4.2. Az összes polifenol-tartalom meghatározás eredményei

A **35. ábrán** szemléltetem a különböző kezelésekben részesült számcápipek összpolicenol-tartalmában bekövetkező változásokat a kezelések és a tárolás függvényében. A kapott eredményeim párhuzamban állnak a szakirodalmi tapasztalatokkal, bár az összes polifenol-tartalom értéke változhat az eperfajtától és az extrakciós módszertől függően is (HEINONEN et al. 1998, KLOPOTEK et al. 2005, MEYERS et al. 2003, PROTEGGENTE et al. 2002, WANG, LIN, 2000). A kontroll mintához képest (257,2 mg / 100 ml), a legnagyobb polifenol veszteséget az önállóan 600 MPa nyomáskezelt mintában mértem a 0. napon (8,7%), azonban a varianciaanalízis eredménye alapján a nyomáskezelés nem rendelkezett szignifikáns hatással ($p=0,446$) a számcápipek polifenol-tartalmára.



35. ábra A nagy hidrosztatikus nyomáskezelések és kíméletes hőkezelések, illetve azok különböző kombinációinak hatása a számcápipek összpolicenol-tartalmára:

■ 0. nap, ■ 14 nap / 2 °C, ■ 14 nap / 15 °C

Az eredményeim összhangban vannak PATRAS és munkatársai (2009b) vizsgálatának eredményeivel, akik megállapították, hogy a fenolos vegyületek meglehetősen rezisztensek bizonyulnak a nyomáskezeléssel szemben. Az adatokat közelebbről megvizsgálva azt tapasztalhatjuk, hogy az önálló kezelések esetében a hőkezelés hőmérsékletének növelésével (6,0%) illetve a nyomáskezelés fokozásával (4,4%) kismértékben csökkent a számcápipek

polifenol-tartalma, ugyanakkor a kombinált kezelések esetében ilyen tendenciát nem vélek felfedezni. A statisztikai elemzések alapján a hőkezelés hőmérséklete és a kezelés sorrendje nem gyakorolt szignifikáns hatást az összes polifenol-tartalomra (hőkezelés: $p = 0,241$, kezelések sorrendje: $p = 0,255$). Kombinált kezelések esetében TEREFE és munkatársai (2009) sem tapasztaltak szignifikáns változásokat a számócapürek polifenol-tartalmában.

A 14 napig történő tárolás azonban már szembeűnő változásokat okozott, melyek mértéke a statisztikai elemzések során szignifikáns volt ($p < 0,05$). Amit azonnal észrevehetünk, hogy az antocianin-tartalomban bekövetkezett változásokhoz hasonlóan a 2 °C-on tárolt minták összpóifenol-tartalma rendre magasabb eredményt mutat (94,0 – 66,2%), mint a 15 °C-on tárolt párjaik eredményei (74,2 – 54,5%), vagyis az alacsonyabb hőmérsékleten végzett tárolás jobban elősegítette a kezdeti polifenol-tartalom megőrzését. Azonban itt a 2 °C-os tárolás hatására is szignifikáns csökkenés mutatkozott (M2_7. ábra), bár a számadatokat megvizsgálva lényegesen kisebb mértékűek voltak a csökkenések, mint a 15 °C-os tárolás esetében.

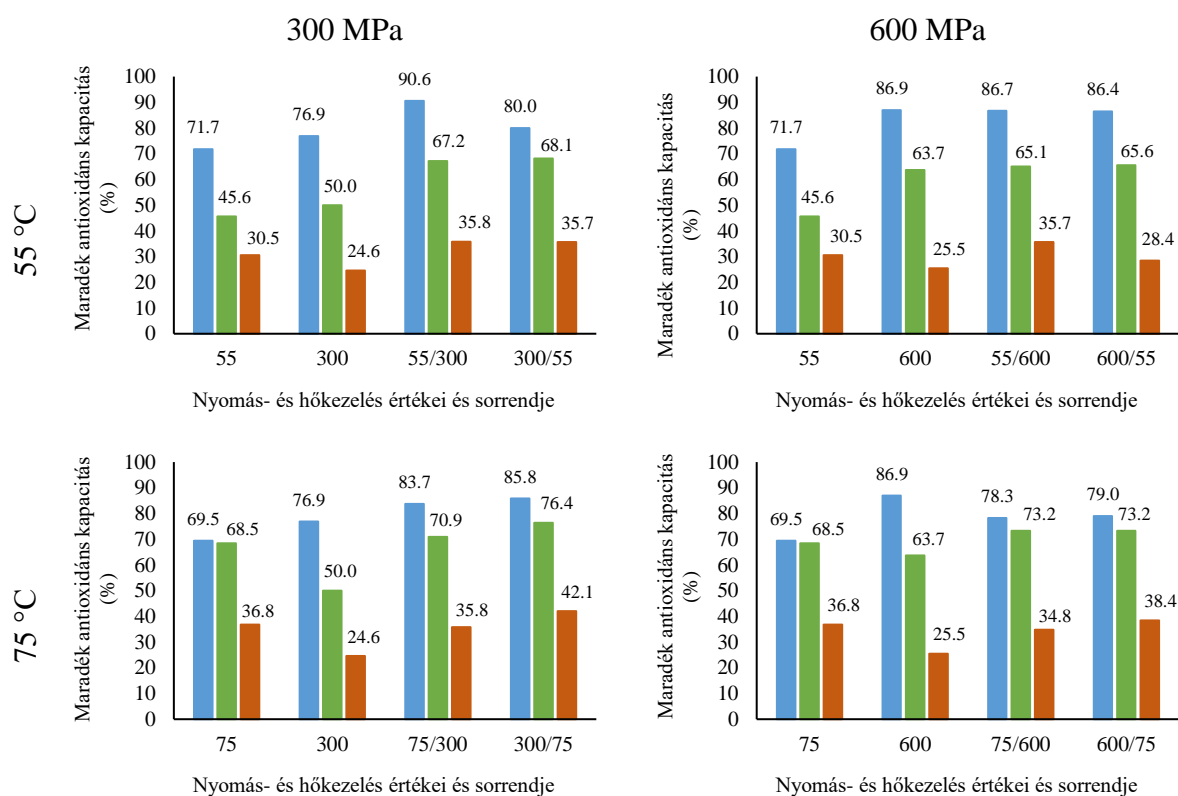
GAO és munkatársai (2016) 45 napos hűtve tárolást követően 14,0 – 33,4% csökkenést tapasztaltak 4 °C-on, illetve 30,4 – 57,0% csökkenést 25 °C-on a számócapürek polifenol-tartalmában. Az összes polifenol csökkenése a fenolos vegyületek oxidációs lebomlásának és a fenolos vegyületek fehérjékkel történő polimerizációjának tudható be. Általában a polifenol-oxidázt és a peroxidázt tekintették a fő enzimeknek, amelyek felelősek a fenolok bomlásáért a feldolgozott számócában és ezekből származó élelmiszerekben (CAO et al. 2011).

Az önállóan hő- vagy nyomáskezelt minták esetében a 14 napos tárolást követően mindkét tárolási hőmérsékletre vonatkoztatva (2 és 15 °C) megfigyelhetjük, hogy a magasabb szinten hőkezelt (75 °C) vagy nyomáskezelt (600 MPa) minták esetében a polifenol-tartalom megőrzése kedvezőbben alakult.

Ezenfelül megállapíthatjuk, hogy az önállóan hő- vagy nyomáskezelt minták értékei (82,3 – 54,5%) szintén alulmaradnak összehasonlításban a valamilyen kombinált kezelésben részesült minták eredményeitől (94,0 – 61,5%), vagyis a kombinált kezelések szintén jobban elősegítették, hogy a minták összpóifenol-tartalma kedvezőbben megmaradjon a tárolások során. A kombinált kezelések sorrendje között az alacsony (300 MPa / 55 °C – 55 °C / 300 MPa) és magas (600 MPa / 75 °C – 75 °C / 600 MPa) szinteken végzett kezelések esetében az először hőkezelt minták mutatnak pár százalékkal jobb eredményt, míg a köztes párosítások (300 MPa / 75 °C – 75 °C / 300 MPa illetve 600 MPa / 55 °C – 55 °C / 600 MPa) esetében az először nyomáskezelt minták. Azonban nem fedezhetünk fel egyértelmű tendenciát, az eredmények csökkenő és növekvő változásai igen ellentmondásosak.

4.4.3. Az antioxidáns-kapacitás mérés eredményei

Számos bioaktív vegyület, mint például a vitaminok, flavonoidok és karotinoidok erős antioxidánsok (BALASUBRAMANIAM et al 2016). Mivel a HHP befolyásolja ezen bioaktív vegyületek stabilitását és extrakciós hozamait, ennek következtében hatással lesz ezen bioaktív vegyületek antioxidáns aktivitására is. A 36. ábra mutatja be a számcapüré minták FRAP módszerrel meghatározott antioxidáns-kapacitás eredményeit, melyek az szakirodalomban közölt értékek tartományába esnek (GUO et al. 2003, HALVORSEN et al. 2006, PELLEGRINI et al. 2003).



36. ábra A nagy hidrosztatikus nyomáskezelések és kíméletes hőkezelések, illetve azok különböző kombinációinak hatása a számcapürék antioxidáns kapacitására:

■ 0. nap, ■ 14 nap / 2 °C, ■ 14 nap / 15 °C

Megállapítható, hogy a kontrollhoz képest (1,31 mmol Fe²⁺ / 100 ml), a kezelések hatására jelentős csökkenés következett be az antioxidáns-kapacitásban (9,4 – 30,5%). Az önállóan 55 illetve 75 °C-on hőkezelt minták antioxidáns kapacitás értékei nagyobb mértékben csökkentek (28,3 és 30,5%), mint a 300 illetve 600 MPa nyomással kezelt minták esetében (23,1 és 13,1%). A varianciaanalízis nem mutatott ki szignifikáns különbséget sem a nyomáskezelés (p = 0,187), sem a hőkezelés (p = 0,241) hatására. A kombinált kezelésben részesült minták antioxidáns-kapacitás

értékei ehhez képest kisebb tartományban mozogtak (9,4 – 21,7%), valamint a kezelések sorrendjének hatása sem bizonyult szignifikánsnak ($p = 0,255$). PATRAS és munkatársai (2009b) vizsgálataival összehasonlítva eredményeimet hasonló következtetésre jutottam. Azt tapasztalták, hogy míg 2 percig tartó 70 °C-os hőkezelés hatására 25 %-os antioxidáns-kapacitás csökkenés következett be, addig 400 – 500 – 600 MPa-os nyomáskezelésnél ez 19 – 16 – 14 %-os volt. Tehát alacsonyabb nyomáson nagyobb az antioxidáns degradáció.

A tárolási körülmények hatását tekintve a legfontosabb változás az antioxidáns-kapacitás értékek szignifikáns ($p < 0,05$) csökkenése volt. Megállapítható, hogy a 2 °C-on tárolt minták sokkal jobban megőrizték antioxidáns-kapacitásukat (45,6 – 76,4%), mint a 15 °C-on tároltak (24,6 – 42,1%). A Tukey teszt alapján (M2_8. ábra) a különböző tárolási hőmérsékletek közti változások is szignifikánsan különböztek egymásól.

A tárolt minták esetében is érvényesül az a megállapítás, hogy a kombinált kezelések kedvezőbben megőrizték a minták antioxidáns-kapacitását (65,1 – 76,4% 2 °C-on illetve 28,4 – 42,1% 15 °C-on), mint a különálló kezelések (45,6 – 68,5% 2 °C-on, illetve 24,6 – 36,8% 15 °C-on). Ezenkívül a csak hőkezelt minták jobb eredményeket mutatnak, mint a csak nyomáskezelt minták. Ez főként a 15 °C-os tárolást követően volt megfigyelhető, mely épp ellentétes tendencia a kezelést követő eredményekhez viszonyítva. GAO és munkatársai (2016) hasonló eredményeket közöltek a tárolás hatásáról: az alacsonyabb hőmérsékleten tárolt szamócapürék jobban megőrizték antioxidáns-kapacitásukat, illetve a nyomáskezelt minták nagyobb mértékű antioxidáns degradáción mentek keresztül. A kombinált kezelések sorrendiségét illetően a 14 napos tárolást követően ezúttal sem tudtam egyértelmű összefüggéseket vagy megállapításokat levonni.

Hogy a bioaktív komponensek valamint a színezetben végbemenő változások között milyen részletesebb kapcsolatot tapasztalhatok, az eredményeket korreláció analízis segítségével elemeztem. Mivel a korrelációs mátrix elrendezése az átló mentén szimmetrikus, így az átló alatti mezőkben a Pearson-féle korrelációs együtthatókat, míg az átló feletti mezőkbe a szignifikancia együtthatókat helyettesítjük, vastagon kiemelve szedve, ha szignifikánsak.

A korrelációs együtthatókat közelebbről is megvizsgálva (37. ábra), láthatjuk, hogy az antocianin-tartalom változásai erősen korreláltak a polifenol-tartalomban bekövetkező változásokkal ($r = 0,858$) valamint az antioxidáns kapacitással ($r = 0,830$) 95%-os valószínűségi szinten. Az összes polifenol-tartalom változása szintén szignifikánsan korrelált az antioxidáns-kapacitás értékeivel ($r = 0,923$).

Korrelációs mátrix:

1.000	0,100	0,094	0,637	0,952	0,687	Szín L*
-0.254	1.000	<0,0001	0,005	0,007	0,011	Szín a*
-0.259	0.876	1.000	0,007	0,001	0,005	Szín b*
0.074	0.423	0.405	1.000	<0,0001	<0,0001	Antocianin
-0.009	0.406	0.479	0.858	1.000	<0,0001	Összpolifenol
0.063	0.386	0.423	0.830	0.923	1.000	Antioxidáns
Szín L*	Szín a*	Szín b*	Antocianin	Összpolifenol	Antioxidáns	

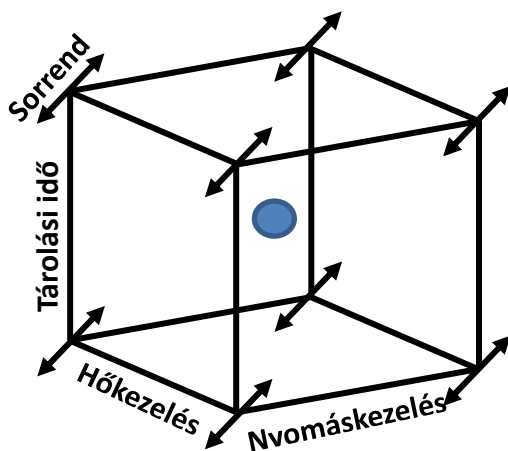
37. ábra A különböző nyomás- és hőkezelésekben részesült szamócapüré minták műszeresen meghatározott L*, a* és b* színjellemzői, valamint a biológiailag aktív komponenseinek mennyisége között számolt korrelációs együtthatók értékei, térképe
A félkövéren szereplő értékek szignifikáns eredmények 95%-os valószínűségi szinten.

Ugyanakkor a minták antocianin-tartalmában bekövetkező változások nem mutattak ilyen erős lineáris összefüggést az a* színkomponens értékeivel ($r = 0,423$), sem a b* színtényezővel (0,405), ellentétben más szerzők tapasztalataival, ahol az antocianin-tartalom és az a* színkomponens közötti összefüggés szorosabb volt (PATRAS et al. 2009b, CAO et al. 2012).

Az a* vörös, valamint a b* sárga színkomponens eredményei szintén erős lineáris összefüggést mutatnak ($r = 0,876$), ugyanakkor a minták L* világossági tényezőjében bekövetkező változások nem mutattak szoros korrelációt a másik két színtényezővel.

4.5. Az eredmények kiértékelése a 2ⁿ faktoriális kísérletterv alapján

A 2ⁿ típusú teljes faktoriális kísérletterv lehetővé teszi, hogy egyszerre több, egymástól független változó főhatást és az azok között esetlegesen fennálló interakciók hatását is vizsgálni lehessen, ezáltal relatíve kevés mintaszámból is sok információt nyerhetünk. Mivel a faktorok a legritkább esetben hatnak egymástól függetlenül, az egyik hatás beállításának megváltoztatása után a másik hatása teljesen megváltozhat. Ezért kell együtt változtatni az összes faktort és nem egyesével keresni optimumot. A kezelést befolyásoló fő faktorok: a nyomás, a hőmérséklet, a sorrend és a tárolás voltak.



38. ábra A 2ⁿ típusú kísérlettervhez felállított modell szemléltetése

A korábbiakban grafikusán és többtényezős variancia-analízis segítségével értékeltem a főfaktorok hatásait, melyet jól szemléltet, ha a térben elképzelünk egy kockát, akkor tulajdonképpen a kocka élei mentén történt az adatok kiértékelése (38. ábra). A modellillesztéssel az volt a célunk, hogy azokhoz a pontokhoz tartozó eredményeket is meg tudjunk becsülni, melyeket valójában nem mértünk meg, valamint következtetni tudjunk a faktorok közötti interakciókra. Azért, hogy az egymástól független változók főhatásai mellett

az egymással szemben mutatott kölcsönhatásait is vizsgálni tudjam, a mérési pontokat kiegészítettem a centrumponthoz (a faktorok két szélső értéke közötti távolság felénél) végzett ismételt mérésekkel (450 MPa nyomáskezelés, 65 °C-os kíméletes hőkezelés). A centrumponthoz a 38. ábrán késsel jelöltem. A 2ⁿ teljes faktoriális kísérleti terv végrehajtásával meghatározható egy olyan válaszfüggvény, melynek segítségével interpolálhatjuk a kocka összes belső pontjára a várható színéleti és beltartalmi értékek megőrzésének mértékét. Két okból adunk középponti beállítást a kísérlettervhez: A folyamat stabilitásának ellenőrzésére és az eredendő változékonyság mérésére, valamint a görbület (a lineáristól eltérő függés) ellenőrzésére.

A 4 faktorra felírható válaszfüggvény:

$$R_{(A, B, C, D)} = M + \beta_A * A + \beta_B * B + \beta_C * C + \beta_D * D + \beta_{AB} * A * B + \beta_{AC} * A * C + \beta_{AD} * A * D + \beta_{BC} * B * C + \beta_{BD} * B * D + \beta_{CD} * C * D$$

ahol:

- M: átlagos hatás (Intercept)
- $\beta_A, \beta_B, \beta_C, \beta_D$: a faktorok főhatásait leíró β -koefficiensek
- A, B, C, D: a faktorok
- $\beta_{AB}, \beta_{AC}, \beta_{AD}, \beta_{BC}, \beta_{BD}, \beta_{CD}$: a faktorok páronkénti kölcsönhatásainak (interakciók) β -koefficiensei

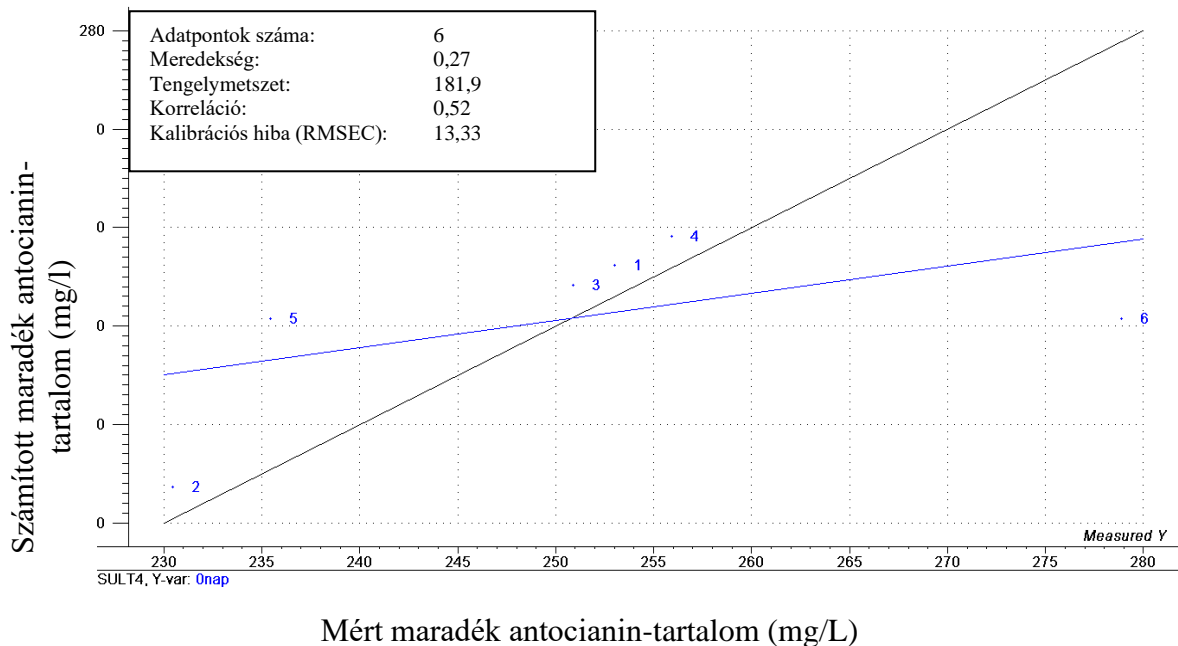
13. táblázat A 2ⁿ típusú faktoriális kísérletterv valószínűségi értékei a tárolás függvényében (kék színnel kiemelve a szignifikáns változást 95%-os valószínűségi szinten)

Kezelések sorrendje	Vizsgált paraméter	Tárolási idő/hőmérséklet		
		0.nap	14 nap / 2 °C	14 nap / 15 °C
Nyomáskezelést követő hőkezelés (P/T)	L*	0,478	0,960	0,786
	a*	0,932	0,721	0,999
	b*	0,899	0,692	0,935
	ΔE^*	0,663	0,707	0,978
	Antocianin-tartalom	0,856	0,794	0,027
	Összpolifenol-tartalom	0,613	0,845	0,389
	Antioxidáns-kapacitás	0,808	0,516	0,171
Hőkezelést követő nyomáskezelés (T/P)	L*	0,928	0,915	0,696
	a*	0,557	0,800	0,673
	b*	0,418	0,674	0,613
	ΔE^*	0,995	0,626	0,290
	Antocianin-tartalom	0,522	0,364	0,300
	Összpolifenol-tartalom	0,819	0,880	0,409
	Antioxidáns kapacitás	0,613	0,332	0,997

A válaszfüggvény (predikció) és az elvégzett mérések eredménye közötti különbség a kocka csúcaiban a reziduálisok. Ha a 2 függvényt egymáson ábrázoljuk, megtudhatjuk, mennyire illeszkedik pontosan az illesztett (válaszfüggvény) a mért adatokra. Az illeszkedések szignifikancia jellemzőit a 13. táblázat tartalmazza.

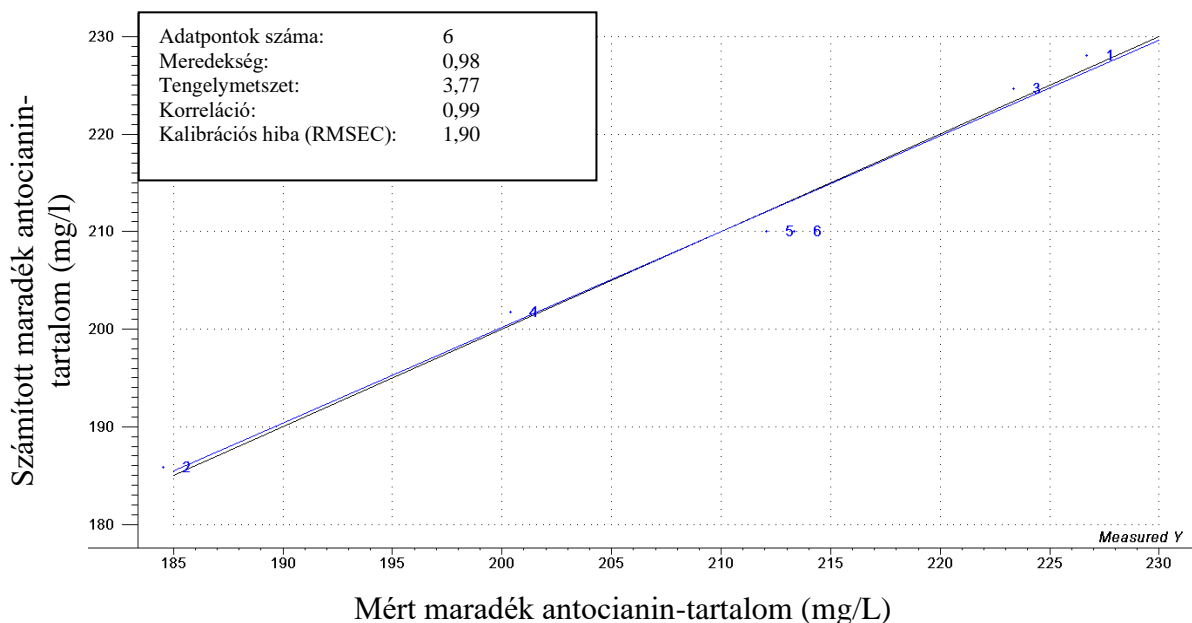
Sajnos a legtöbb esetben a számított modell értékek nem illeszkednek megfelelően a mért pontokra, ezt a 39. ábrán bemutatott példa jól szemlélteti. Az illesztés jóságának a nem megfelelőségét jól tükrözi az ábrán a korreláció értéke, mely ideális esetben 1, itt azonban 0,52. Ezenkívül a meredekség értéke ideális esetben 1, itt azonban 0,27, a tengelymetszet értéke pedig a tökéletes illeszkedést mutató 0 helyett itt 181,9. A kalibrációs hiba értéke (RMSEC) is látható, amely szintén nem nulla. Látható, hogy ezek az értékek helyenként nagy eltérést mutatnak az elvárt ideális értékektől, de a döntő ítéletet mégis a modellre vonatkozó szignifikancia szint mondja ki, mely a 13. táblázat szerint erősen messze van attól, hogy szignifikánsnak tekinthessük ($p = 0,856$). Ha a centrumpontokat (az ábrán 5, 6-os számmal jelölt pontok) figyelmen kívül hagyánk, akkor

láthatóan a modell szinte tökéletesen illeszkedne sarokpontokra (az ábrán 1, 2, 3, 4-es számmal jelölt pontok).



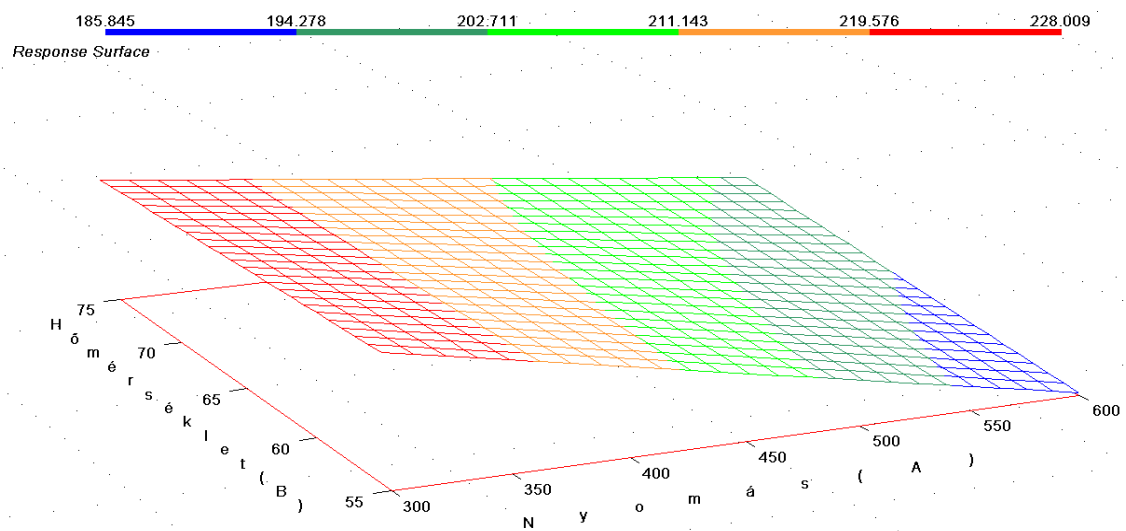
39. ábra A faktoriális kísérletterv alapján a mért adatokra illesztett modell a 0. napi, először nyomás majd hőkezelt minták antocianin értékei esetén

Ez a megállapítás az összes többi esetre is érvényes. A centrum pontokat is figyelembe véve, egyetlen egy esetben valósult meg helyes illesztés, a 15 °C-on tárolt antocianin mérés eredményei esetén (40. ábra).



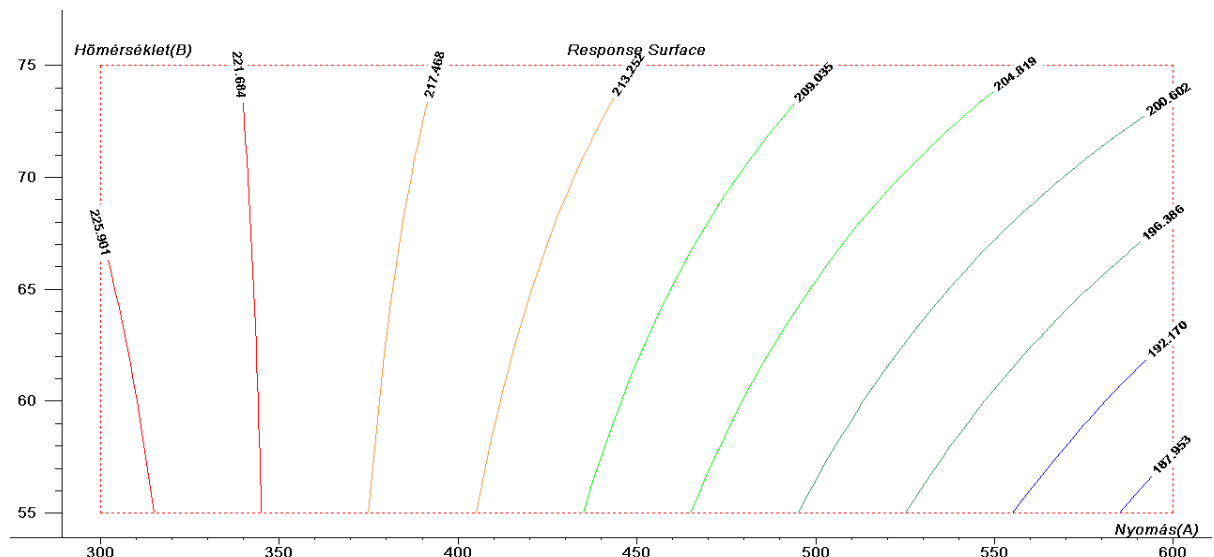
40. ábra A faktoriális kísérletterv alapján a mért adatokra illesztett modell a 14 napig 15 °C-on tárolt, először nyomás, majd hőkezelt minták antocianin értékei esetén

Az illesztett modell szignifikánsnak tekinthető ($p = 0,027$). A mért és számított adatok között számított korrelációs együttható értéke is jelentősen megnövekedett (0,99), illetve az illesztett lineáris összefüggés is jobban megközelítette az elvárt 1-es együtthatójú meredekséget (0,98) és a nulla értékű tengelymetszetet. A kalibrációs hiba is lecsökkent 1,9 %-ra.



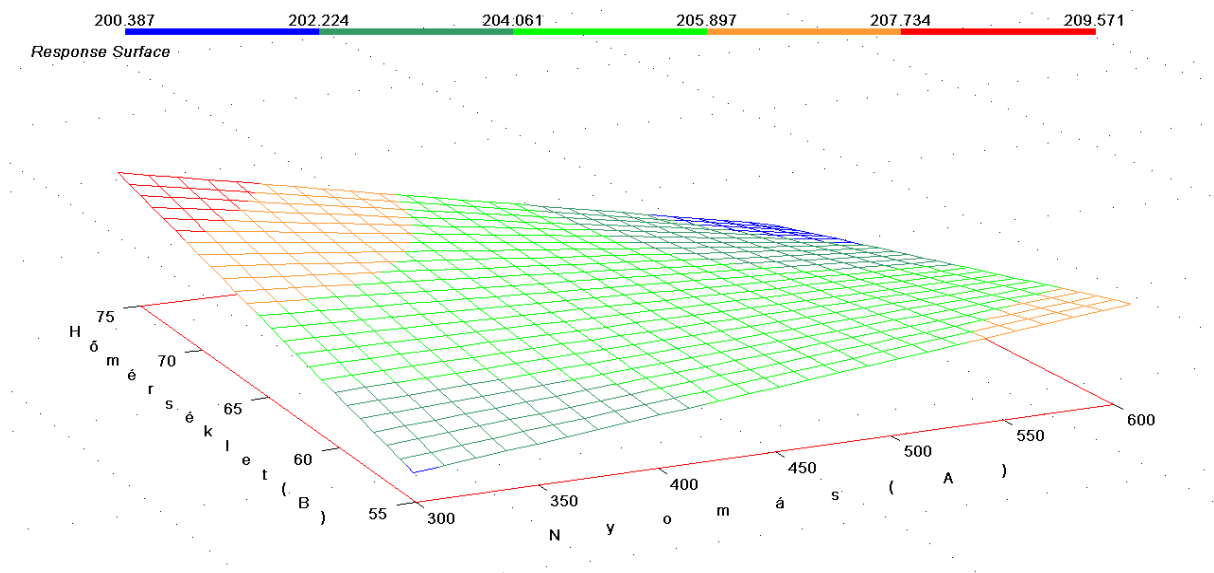
41. ábra A 2ⁿ típusú faktoriális kísérletterv eredményei térben ábrázolva, a 14 napig 15 °C-on tárolt, először nyomás majd hőkezelt antocianin értékek esetében

Ennél az egy esetnél a faktoriális kísérletterv eredményeit térben ábrázolva (41. ábra), megállapíthatjuk, hogy a hőkezelés hőmérsékletének növekedésével alapvetően nem változik az antocianin-tartalom, azonban a nyomásnövelés negatívan hat rá. Ez különösen a 300 MPa / 55 °C kezelés kombináció esetében érvényesül a legintenzívebben, míg a 600 MPa / 75 °C esetében kevésbé. Ezt támasztja alá a β -koefficiens értéke is, mivel szignifikáns faktor esetében ez utal arra, hogy milyen előjelű változás várható a faktor megváltoztatásakor. A negatív előjelű β -koefficiens (-0,109) miatt elmondható, hogy a nyomáskezelés növelése jelen esetben negatívan hatott a számacapüré antocianin-tartalmára. A többi faktor és kölcsönhatásaik nem befolyásolták szignifikánsan a változásokat.



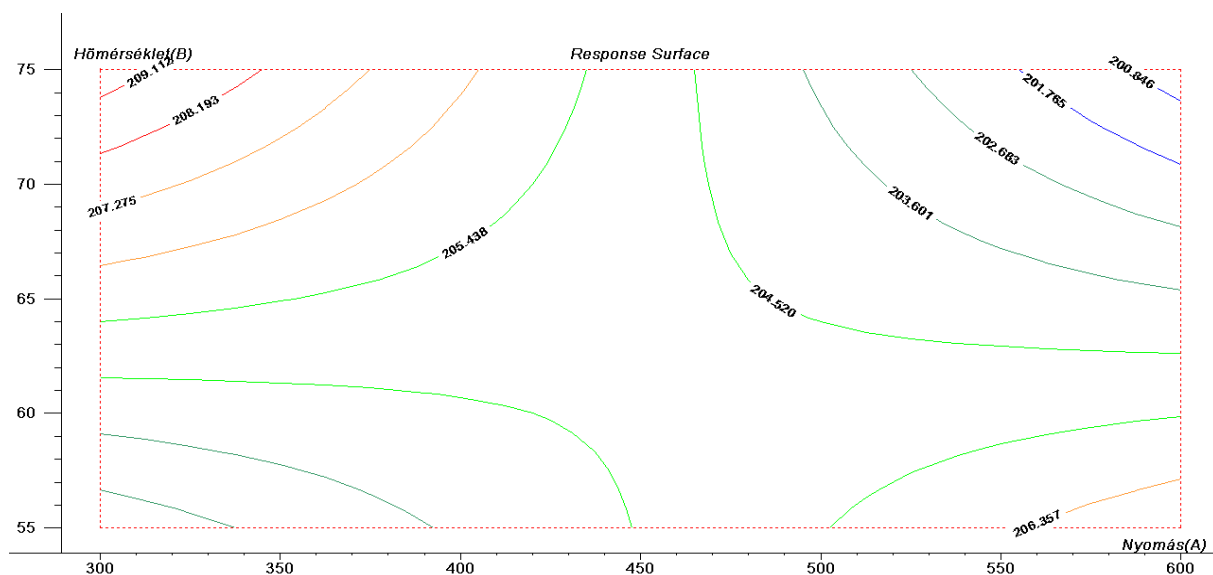
42. ábra A 2ⁿ típusú faktoriális kísérletterv válaszfelülete szintvonalakkal ábrázolva, a 14 napig 15 °C-on tárolt, először nyomás majd hőkezelt antocianin értékek esetén

A 42. ábrán látható modell a válaszfelületek szintvonalait ábrázolja. Ezekből szintén arra következtethetünk, hogy a nyomás növelésével kevésbé volt jellemző az antocianin-tartalom megőrzése, és a szintvonalak görbülése jelzi a nyomáskezelés-hőkezelés interakciókat, miszerint a magasabb hőmérséklettel kombinálva a nyomáskezelést, kevésbé érvényesül a nyomáskezelés negatív hatása.



43. ábra A 2ⁿ típusú faktoriális kísérletterv eredményei térben ábrázolva, a 14 napig 15 °C-on tárolt, először hő- majd nyomáskezelte antocianin értékek esetében

Érdekes, ha az eredményeket összehasonlítva az először hőkezelt, majd azután nyomáskezelt párjával, láthatjuk (43. ábra), hogy az előbbi eredménnyel ellentétesen itt a nyomáskezelés a magasabb hőmérsékletű hőkezeléssel kombinálva eredményezte a kevésbé kedvező hatást.



44. ábra A 2ⁿ típusú faktoriális kísérletterv válaszfelülete szintvonalakkal ábrázolva, a 14 napig 15 °C-on tárolt, először hő majd nyomáskezelt antocianin értékek esetén

A válaszfelületek szintvonalai (44. ábra) alapvetően mutatják, hogy a nyomáskezelés és hőkezelés kombinált alkalmazása során a kezelési szintek növelésével az eredmények nem elsőrendű kinetika alapján változóak, mely szinte az összes kapott eredményre elmondható. Ezt különösen abból láthatjuk, hogy a középponti beállítások eredményei eltérnek a sarokpontokhoz képest elvárt értékektől. Ha érvényesülne az első rendű kinetika, akkor a szintvonalak egyenesek lennének, itt azonban jól látható, hogy a középpont felé haladva görbülnek.

Ahhoz, hogy az általunk illesztett modell jól leírja az összes mért eredményt, több értéket kellett volna mérnünk a sarokpontok között. Ezen kívül javasolhatjuk a tárolási idő meghosszabbítását, és/vagy a sarokpontok közötti nyomás és hőmérséklet intervallumok csökkentését, több köztes érték felvételével.

4.6. Érzékszervi bírálatok kiértékelése

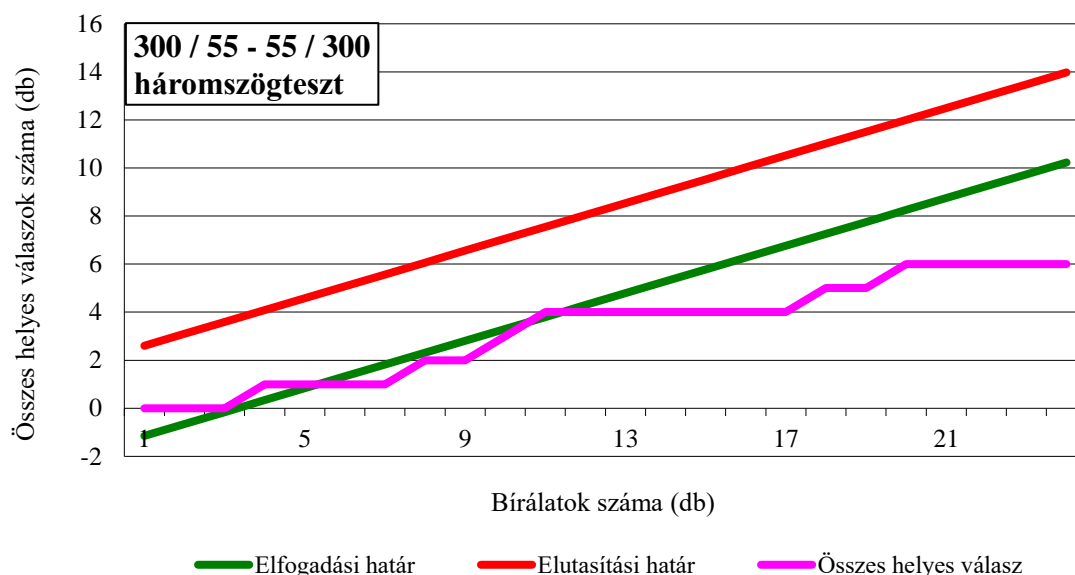
Mivel a korábbi fejezetekben bemutatott műszeres (szín, pH) és analitikai vizsgálatok (bioaktív vegyületek) eredményei alapján nem volt egyértelmű, hogy a kombinált kezelések különböző sorrendje milyen irányokban és mértékben képes befolyásolni a számacapürék minőségét, így a kísérletemet a második szakaszban érzékszervi bírálatokkal, valamint elektronikus orr

alkalmazásával egészítettem ki. Az érzékszervi vizsgálatok kiválasztása során szem előtt tartottam, hogy olyan módszert válasszak, mellyel kifejezetten a különbségek meglétét lehet kimutatni, jelen esetben különös tekintettel a kezelések sorrendjét illetően. Valamint, hogy a kapott eredményeket objektíven is alátámasszam műszeres vizsgálatokkal, így az elektronikus orr szenzor jelválaszait értékeltem.

Ahogy azt a 4.3.4 fejezetben bemutattam, a ΔE^* eredmények alapján a 14 napos tárolást követően a 15 °C-on tárolt minták esetében már számíthatunk rá, hogy a bírálók észrevehető változásokat fognak tapasztalni. Így a magasabb tárolási hőmérsékletet választottuk a további vizsgálatok kivitelezéséhez, valamint, hogy az érzékszervi vizsgálatok során a szélső értékekre fókuszáljunk, az alacsony (300 MPa / 55 °C – 55 °C / 300 MPa) és magas (600 MPa / 75 °C – 75 °C / 600 MPa) kezelési paraméterek eltérő sorrendű kombinációit választottuk ki a vizsgálatok alapjául.

4.6.1. A kezelést követő változások vizsgálata

Az alacsony szintű kezelések különböző sorrendben történő kivitelezése (300 MPa / 55 °C – 55 °C / 300 MPa) közötti különbségpróba illetve az eredmények szekvenciális eljárással történő kiértékelését a 45. ábra mutatja be. A 24 bíráló közül mindössze 6 bíráló tudta helyesen megállapítani, hogy melyik az eltérő minta.

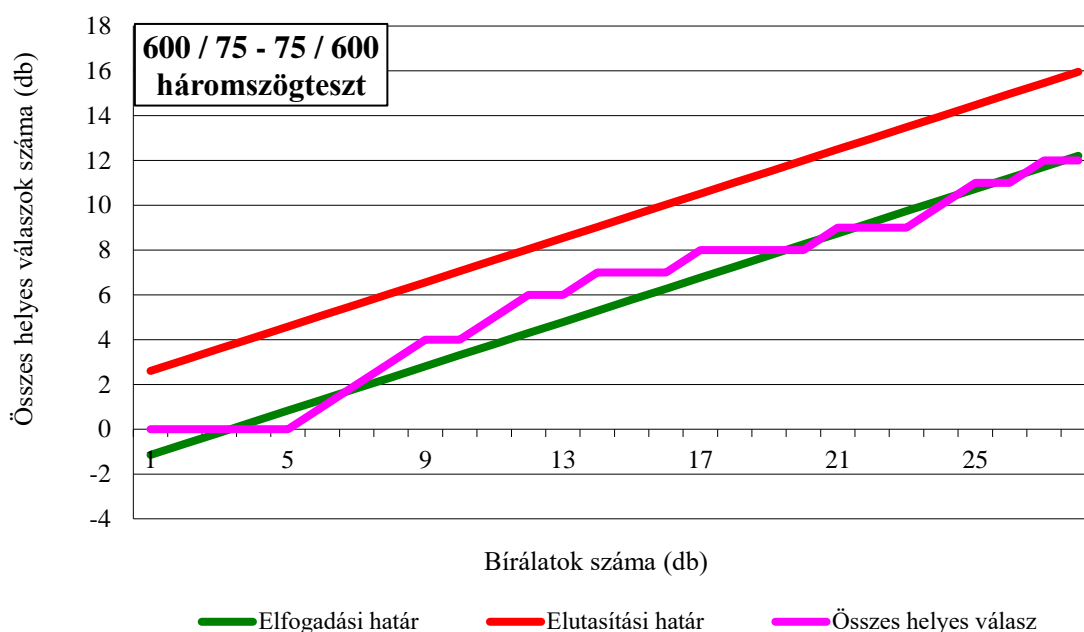


45. ábra A 300 MPa / 55 °C-on és a 55 °C / 300 MPa-on kezelt minták kezelést követő (0. nap) összehasonlításának eredménye

Ahogy azt a diagram is mutatja, az összes helyes válaszok száma az elfogadási határegyenes alá került. Így 95%-os pontossággal elfogadjuk a H_0 hipotézist, vagyis a különböző sorrendben kezelt

számocapürék között laikus bírálók esetén matematikailag igazolható szignifikáns érzékszervi különbség nincs. Ha több bírálóval végeztem volna a kísérletet, az összes helyes válasz vonala, ezt a tendenciát követve, még inkább távolodott volna az elutasítási határtól.

A binomiális tétel alkalmazásával is hasonló eredményt kaptam. A számított valószínűségi érték ($p = 0,737$) a szignifikancia határérték ($p = 0,05$) felett van, így a H_0 hipotézist elfogadjuk, így 95%-os biztonsággal állíthatjuk, hogy a 300 MPa / 55 °C – 55 °C / 300 MPa minták között laikus bírálók esetén szignifikáns érzékszervi különbség nincs, nem különböznek egymástól a kivitelezett kezelések különböző sorrendjét illetően.



46. ábra A 600 MPa / 75 °C-on és a 75 °C / 600 MPa-on kezelt minták kezelést követő (0. nap) összehasonlításának eredménye

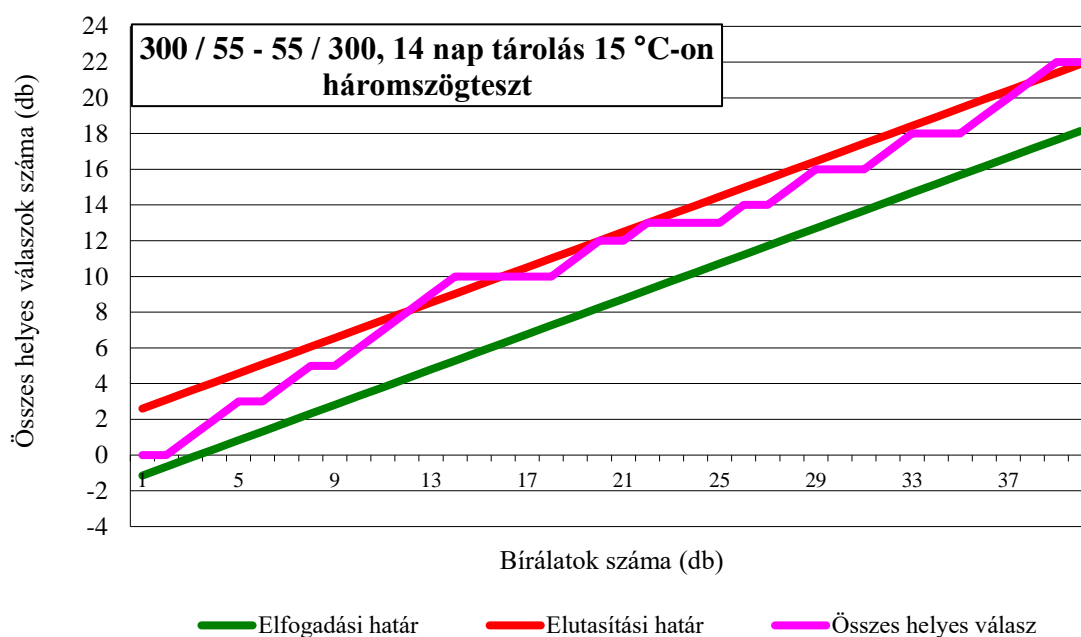
A 46. ábra illusztrálja a magas szintű kombinált kezelések (600 MPa / 75 °C – 75 °C / 600 MPa) közötti különbségpróba illetve az eredmények szekvenciális eljárással történő kiértékelését. 28 bírálóból 12 volt képes helyesen kiválasztani a különböző mintát.

Az összes helyes válaszok száma ezúttal is az elfogadása határegyenes alá kerül, valamint a binomiális tétel nyomán a számított szignifikancia érték $p = 0,103$, mely szintén a szignifikancia határérték felett van, vagyis ez esetben is kijelenthető, hogy nincs szignifikánsan kimutatható érzékszervi különbség a vizsgált minták között.

4.6.2. A 14 napos tárolást követő változások vizsgálata

Az érzékszervi vizsgálatok második fázisában a 14 napos tárolás után vizsgáltam meg a számcapüré mintákat. Minden mintapárost 2 hétig tároltam, 15 °C-on. A nem inaktivált enzimek a 14 napos tárolás alatt komoly érzékszervi változást idézhetnek elő, illetve az életben maradt, vagy csak szubletális sérülést szenvedett mikrobák is okozhatnak minőségi romlást.

A második fázis első összehasonlítása szintén az alacsony szintű kombinált kezelésekben részesült (300 MPa / 55 °C – 55 °C / 300 MPa) mintákkal történt, a kiértékelés eredményeit a 47. ábra szemlélteti. A bírálók száma jelen esetben 40 fő volt, melyek közül 22 fő tudott különbséget tenni.



47. ábra A 300 MPa / 55 °C-on és az 55 °C / 300 MPa-on kezelt minták 14 napig 15 °C-os tárolást követő összehasonlításának eredménye

Ahogy az ábrán is jól látható, az összes helyes válaszok száma pirossal jelölt elutasítási határegyenestől fölé jutott, ezért 95 százalékos biztonsággal H_0 -t elvetjük, azaz matematikailag igazolható szignifikáns érzékszervi különbség van az alacsony szintű kombinált kezelésekben részesült számcapüré minták között a 14 napos 15 °C-on történő tárolást követően.

Ezt a binomiális tétel is alátámasztja, mivel a valószínűségi érték ebben az esetben 0,5 alatt van ($p = 0,001$). Így a H_0 hipotézist elvetjük, azaz 95%-os megbízhatósági szinten állíthatjuk, hogy a laikus bírálók matematikailag igazolhatóan szignifikáns érzékszervi különbséget tudnak tenni a számcapüré minták között.

Ez az eredmény feltételezhetően az alacsony szintű kezelési paramétereknek köszönhető. A kisebb nyomásérték és az alacsonyabb kezelési hőmérséklet kombinációja feltételezhetően nem inaktíválta megfelelő mértékben az enzimeket, melyek valószínűleg a 14 napos tárolás alatt is folytatták aktivitásukat, így érzékszervi változásokat okozva a termékben (SALAMON et al. 2018).

A gyümölcsökben jelenlévő PPO enzim katalizálja a gyümölcsök fenolos alkotóelemeinek lebomlását (az o-difenol o-kinonokká oxidálódik) oxigén jelenlétében. A kapott o-kinon ezt követően polimerizálódik más o-kinonnal, fehérjével vagy aminosavakkal, amelyek nemkívánatos barna színű vegyületeket eredményeznek (FUJITA et al. 1995; (GOLAN-GOLDHIRSH et al. 1984, VÁMOS-VIGYÁZÓ 1981), valamint mellékízt és mellékíllatot a szamócából készült termékekben (TOMAS-BARBERAN, ESPIN 2001).

A mikrobák jelenléte és szaporodása, mely a kéméletes kezelések miatt lehetséges, szintén minőségi romlást idézhetett elő. Ezek együttesen elősegíthették a kezelések különböző sorrendjének hatását a mintákra.

A háromszögteszt részeként a bírálóknak azt az észrevételt is le kellett írniuk, hogy mi alapján választották ki a mintát, vagy csak tippeltek. A helyesen megkülönböztetett választásokhoz tartozó észrevételek:

Az először nyomáskezelt, majd hőkezelt (300 MPa / 55 °C) minták jellemzése: „sűrűbb és édesebb”, „intenzívebb jellegzetes eper íz”, „erőteljesebb íz”, „sűrűbb, eper íz intenzívebb”, „friss és intenzívebb illat és íz”, „kevesebb utóíz”, „enyhén világosabb”.

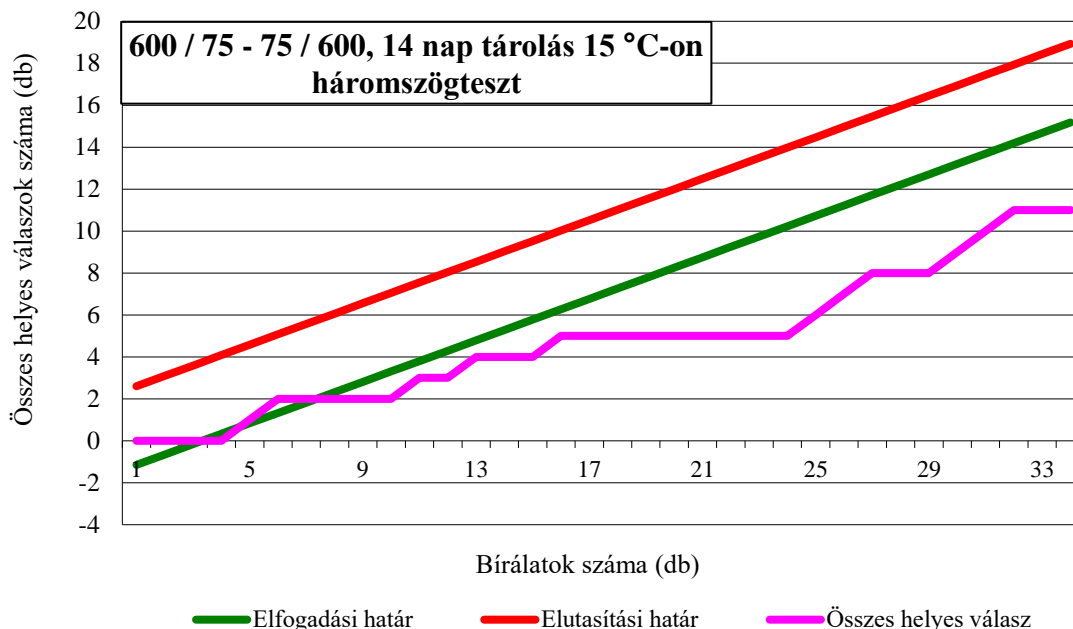
Az először hőkezelt majd nyomáskezelt (55 °C / 300 MPa) minták jellemzése: „savanyúbb, savasabb jellegű”, „folyékonyabb állag, kevésbé intenzív illat, édesebb íz”, „hígabb állag”, „erjedt savas, buborékos”, „savanyúbb, mint a másik kettő, sötétebb”.

A kapott jellemzéseket összevetve a korábbi vizsgálati eredményekkel, az először nyomáskezelt mintának (300 MPa / 55 °C) kismértékben magasabb volt az L* értéke, mely közrejátszhatott, hogy a bírálók világosabbnak érzékelték a mintát, valamint alacsonyabb az élősejtszám értéke is. Az a* színtényező értékeiben nem mutatkozott különbség.

Azonban akik nem találták el a helyes megfejtést, azok is hasonló leíró jellemzéseket adtak. Ez arra enged következtetni, hogy minimális különbség adódhat ugyan a kezelések sorrendjének köszönhetően, de a laikus bírálók még nem képesek egyértelműen megkülönböztetni a kezelések sorrendjét egymástól. Ez a fajta kettősség, hogy helyes és helytelen válasz esetében is hasonló jellemzőket adtak a bírálók a többi mérési körben is megjelent.

A második fázis következő összehasonlítása ismét a magas szintű (600 MPa / 75 °C-75 °C / 600 MPa) kombinált kezelésekből részesült, 14 napig 15 °C-on tárolt mintákkal történt. Ennek

eredményeit a 48. ábra ismerteti. A vizsgálatokat ebben az összehasonlításban 34 bírálóval végeztem, melyek közül 11-en találták el helyesen az eltérő mintát.



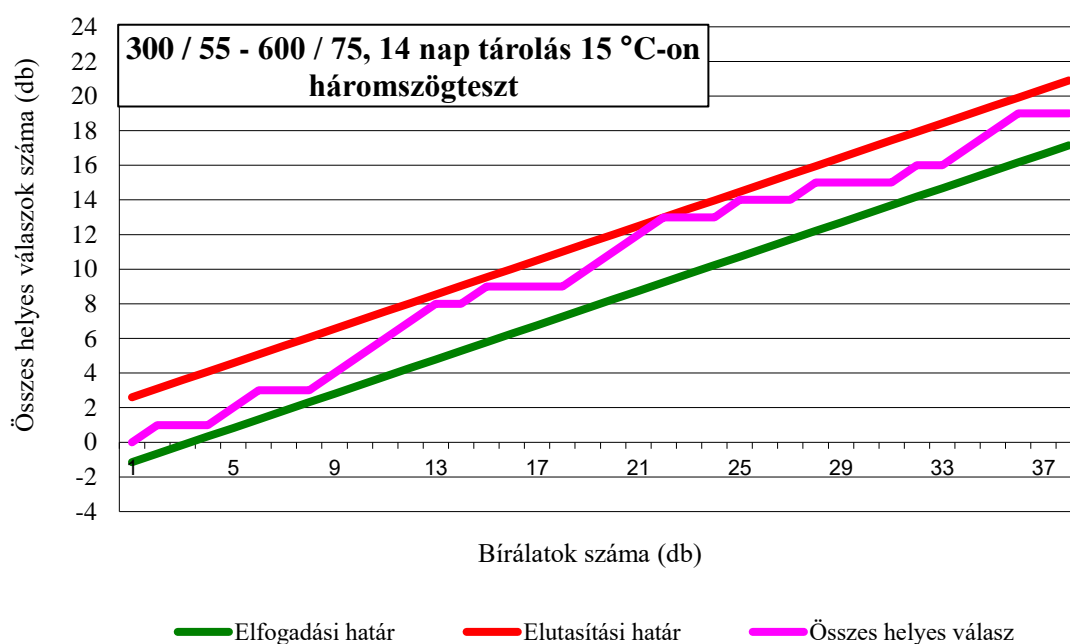
48. ábra A 600 MPa / 75 °C-on és a 75 °C / 600 MPa-on kezelt minták 14 napig 15 °C-os tárolást követő összehasonlításának eredménye

Ezen kísérlet azt mutatja, hogy az összes helyes válaszok száma kezdetben érinti, majd folyamatosan eltávolodik az elfogadási határtól és alatta marad. Még több bíráló bevonásával, ezzel a tendenciával feltételezhetjük, hogy a válaszok vonala még inkább eltávolodna az elfogadási határtól, így az ábra alapján 95%-os valószínűséggel kijelenthetjük, hogy nincs szignifikáns különbség a kezelt minták között.

A binomiális tétel alkalmazása is ezt támasztja alá, a valószínűségi érték ebben az esetben $p = 0,468$, jóval nagyobb, mint a szignifikancia határérték, így a H_0 -t megtartjuk, mely szerint érzékszervileg nincs különbség a vizsgált minták között.

Ez valószínűleg a kezelések magasabb szintjeinek köszönhető. A magasabb szinten végzett nyomás- és hőmérséklet kezelések nagyobb mértékben inaktiválhatták az enzimeket, melyek eredményeképpen minimális változás ment végbe a termékben a 14 napos, 15 °C-os tárolás során. Az utolsó összehasonlítás során a kezelési paraméterek alacsonyabb szintjeit volt hivatott vizsgálni a magasabbakkal szemben (300 MPa / 55 °C – 600 MPa / 75 °C), ha a sorrend nem változik. Ehhez az először nyomáskezelt majd hőkezelt sorrendet választottam ki, mivel a korábbi eredmények statisztikai kiértékelése során a varianciaanalízis szerint az L^* világossági szintényezőt

befolyásolta szignifikánsan a kezelések sorrendje, ahol az először nyomáskezelt, majd utólag hőkezelt minták mutattak kedvezőbb eredményeket. A 2ⁿ faktoriális kísérletterv szignifikáns eredményei alapján az először nyomás kezelt majd hőkezelt minták antocianin-tartalma kedvezőbben megőrződött ezeken a paramétereken (300 MPa / 55 °C – 600 MPa / 75 °C, 14 napos 15 °C-os tárolás), mint fordított sorrendben történő kezelések esetében. A vizsgálatokat ebben az összehasonlításban 38 bírálóval végeztem, melyek közül 19-en tudták helyesen megkülönböztetni az eltérő mintát. Az eredményeket a 49. ábra mutatja be.



49. ábra A 300 MPa / 55 °C-on és a 600 MPa / 75 °C-on kezelt minták 14 napig 15 °C-os tárolást követő összehasonlításának eredménye

Az ábra alapján nem lehet teljes biztonsággal eldönteni, hogy a minták különböznek egymástól vagy sem, mivel az összes helyes válaszok száma alapvetően nem lépi át az elutasítási határt, de érinti, valamint végig az elutasítási és elfogadási határegyenesek között mozog. Így a döntő választ a binomiális tétel képes megadni, mely szerint a valószínűségi érték jelent esetben $p = 0,011$, ami szignifikancia határérték alatt van, így H_0 -t elvetjük, tehát a minták a statisztikai adatok alapján érzékszervileg szignifikánsan különböznek egymástól.

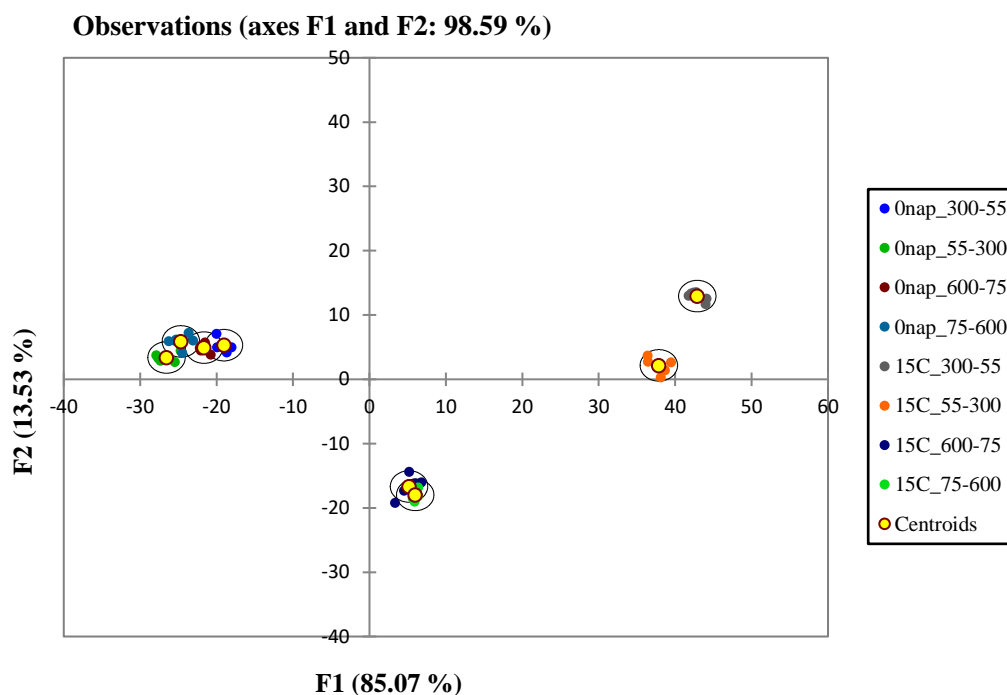
A bírálók meg tudták különböztetni, melyik volt az alacsonyabb paramétereken kezelt minta. A magasabb kezelési paraméterek valószínűleg nagyobb arányban inaktiválták a nemkívánatos enzimeket, így ezekben a mintákban kisebb minőségi változások mentek végbe, mint az alacsonyabb paramétereken kezelt mintákban.

A háromszögteszt részeként a bírálóknak azt az észrevételt is le kellett írniuk, hogy mi alapján választották ki a mintát, vagy csak tippeltek. A helyesen megkülönböztetett választásokhoz tartozó észrevételek: A 300 MPa / 55 °C minták jellemzése: „folyósabb, édesebb, nincs utóíz, selymesebb”, „kevésbé savas”, „hígabb, kevésbé erőteljes íz”, „hígabb, vizesebb”, „hígabb, kevésbé epres ízű”, „folyós, homogén állomány, gázképződés minimális”, „alig van eper íze, hígított”.

A 600 MPa / 75 °C minták jellemzése: „sűrűbb, illata eltér, savanyú illat, nem túl édes, savasabb”, „kevésbé édes”, „sűrűbb, kevésbé savanykás íz”, „halványabb szín, édesebb, darabosabb”, „sűrűbb, édesebb, több gyümölcsdarabot tartalmaz”, „sűrűbb, illata kevésbé intenzív”, „viszkózusabb, darabosan összeálló, gázképződés erősebb”.

4.7. Az illékony komponensek eredményeinek értékelése

Mivel az érzékszervi bírálatok eredménye alapján a bírálók nem minden esetben tudtak különbséget tenni a mintapárok között a kezelések sorrendjét illetően, így ebben a fejezetben az ezekhez a számacapüré mintákhoz tartozó műszeresen mérhető illékonykomponens tartalomban bekövetkező objektív változásokat elemeztem párhuzamba állítva azokat az érzékszervi vizsgálatok eredményeivel. Ehhez az elektronikus orr által szolgáltatott szenzor jelválaszok adatsorait diszkriminancia analízissel értékeltem, hogy a készülék egyes szenzorjai által érzékelt illékony komponensek milyen mértékben különböznek egymástól a kezelési paraméterek szintjei és sorrendiségének, valamint a tárolás függvényében. A diszkriminancia-analízis során az előre definiált csoportok közötti varianciát maximalizáljuk, miközben a csoporton belülit minimalizáljuk. Az algoritmus a megfigyeléseket a mintatérből egy olyan diszkrimináló térbe viszi át, ahol a csoportok a lehető legjobban elkülönülnek, és kiválasztja azokat a változókat, amelyek a csoportok különbözőségét határozottan magyarázzák. A szeparáló eljárás azokat a hiperfelületeket keresi, amelyek elválasztják egymástól a minta osztályait feltételezve, hogy az azonos osztályokban szereplő elemek “közel”, a különböző osztályokban szereplők pedig távol helyezkednek el egymástól (DALMADI et al. 2007).



50. ábra Az alacsony (300 MPa / 55 °C – 55 °C / 300 MPa) és magas (600 MPa / 75 °C – 75 °C / 600 MPa) kezelési szintek elektronikus orr szenzor jel-válaszainak diszkriminancia értékelése a tárolási idő (14 nap) és hőmérséklet (2 illetve 15 °C) függvényében

Az 50. ábrán vehetjük szemügyre az alacsony (300 MPa / 55 °C – 55 °C / 300 MPa) és magas (600 MPa / 75 °C – 75 °C / 600 MPa) kezelési szintek elektronikus orr szenzor jel-válaszainak kiértékelési eredményeit a diszkriminancia analízis segítségével a tárolási idő (14 nap) és hőmérséklet (2 illetve 15 °C) függvényében. A tengelyeken az első (F1) és második (F2) diszkrimináns irány látható, a mellettük található százalékok pedig az adott irányok diszkrimináló erejét mutatják. Jelen esetben a kapott eredmény az adatok 98,59%-át magyarázza, mely igen magas, minél nagyobb ez az érték, annál megbízhatóbb az eredmény. Az ábrán minél távolabb állnak egymástól az egyes mintákhoz tartozó adatpontok, annál nagyobb, annál jobban érzékelhető a különbség a minták illékony komponensei között.

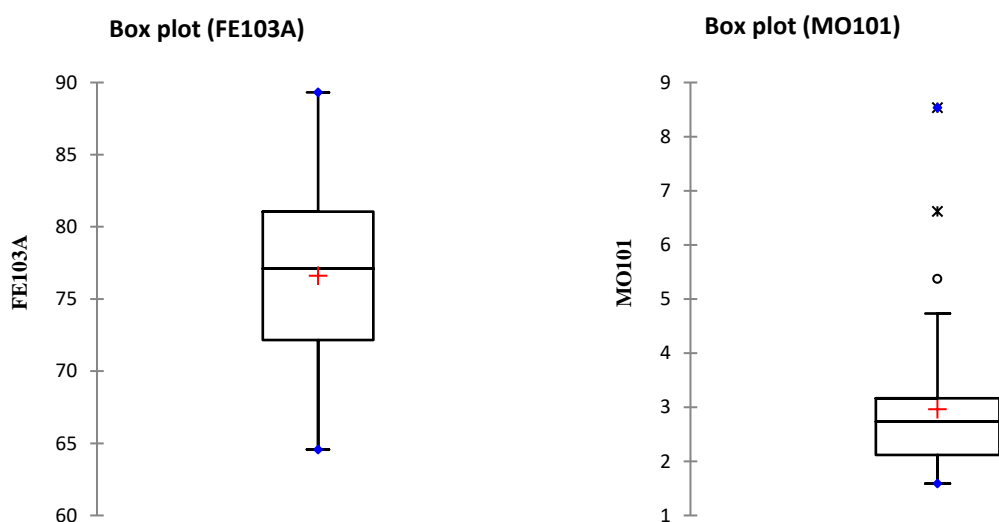
A kombinált kezelések csoportjai a kezeléseket követően (0. nap) alapvetően nem különültek el egymástól a diszkrimináns térben, a csoportok között átfedés van, vagyis a számocapürék illékony komponensei szignifikánsan nem különböztek egymástól, tehát a kezelések sorrendje, illetve a kezelések szintjei alapvetően nem voltak megkülönböztethetőek. LAMBERT és munkatársai (1999) sem figyeltek meg szignifikáns változást a kezeletlen és a HHP kezelt (200 és 500 MPa / 20 °C / 20 perc) számocapüre között azok illékony komponenseit illetően.

Annak ellenére, hogy a HHP kezelés csak minimálisan befolyásolja a gyümölcsstermékek minőségét meghatározó tulajdonságokat, a tárolás során azokban változások következhetnek be az

egymás mellett párhuzamosan lezajló kémiai reakciók, mint például oxidáció és egyéb biokémiai reakciók következtében, ha az endogén enzimek inaktiválása nem volt teljeskörű (OEY et al. 2008), így a tárolás során bekövetkező változások elemzése alapvetően szükséges a HHP-vel kezelt termékek minőségének javítása érdekében.

A 14 napos 15 °C-on történő tárolást követően azonban a csoportok jelentősen elkülönülnek a diszkriminációs térben a tárolás nélküli csoportokhoz képest, valamint a kezelések szintjei alapján is. A 600 MPa / 75 °C-os és 75 °C / 600 MPa csoportok között nem jelenik meg szignifikáns különbség, azonban az alacsonyabb kezelési szinteken a 300 MPa / 55 °C-os mintacsoport elkülönül az 55 °C / 300 MPa mintáktól, vagyis itt már a kezelések sorrendje is szignifikánsan hatással bírtak a számacapürék illékony komponenseire. Azonban a legjelentősebb különbségeket a tárolás okozta, mivel a minták a legnagyobb mértékben az első -így a csoportok közötti variációt legnagyobb mértékben leíró - diszkriminációs irány szerint különültek el. A 300 MPa / 55 °C-55 °C / 300 MPa kezelések közötti sorrendi különbség a 2. diszkriminációs irányban mutatkozik, melynek a diszkrimináló ereje lényegesen kisebb (13,53%) mint az első iránynak (85,07%), vagyis a tárolásnak nagyobb hatása van a minták illékony komponenseiben bekövetkező változásokra, mint a kezelések sorrendjének.

A következőkben leíró statisztika segítségével megvizsgáltam, hogy a kapott adatok között találhatóak-e esetlegesen olyan kiugró adatok, melyek torzíthatják a diszkriminációs analízis eredményét. Ennek az eredményeit az 51. ábra szemlélteti box-plot diagramok formájában.



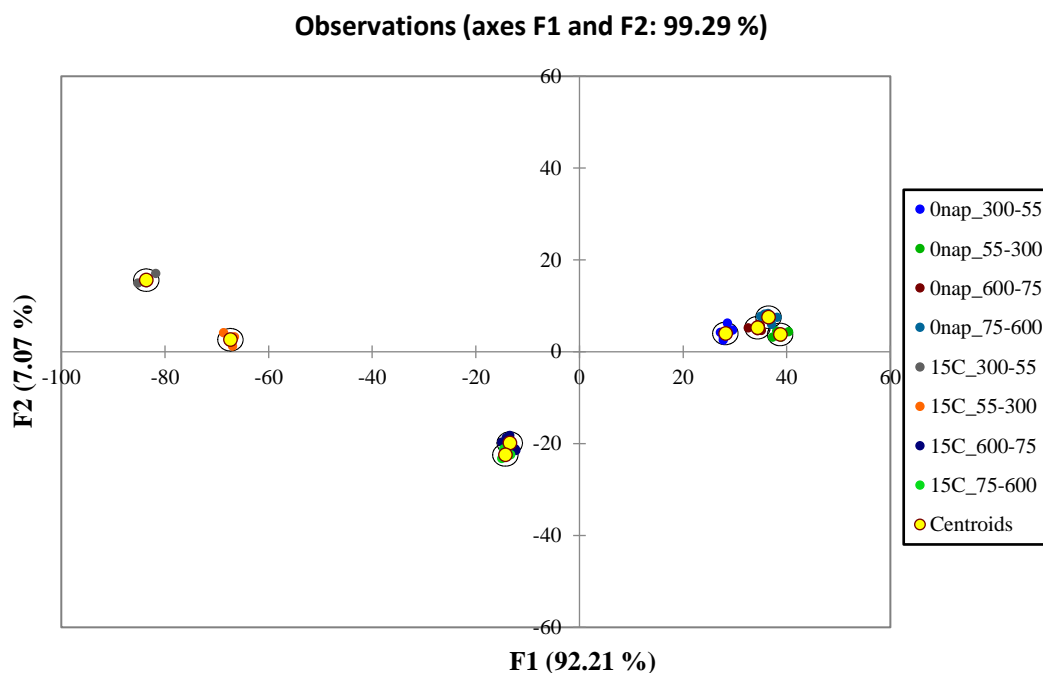
51. ábra A kiugró adatok vizsgálatához tartozó Box-plot diagramok az FE103A és MO101 érzékelők esetében

Az ábrán a bal oldali box-plot diagram egy olyan szenzor (FE103A) értékeit mutatja, melyben nem volt kiugró adat. A jobb oldali diagram viszont azt mutatja, hogy az MO101 szenzor több

igen eltérő jelet is érzékelt. A kiugró értékeket ezután eltávolítottam a kezdeti adatsorokból, hogy azok ne befolyásolják negatívan a kiértékelések megbízhatóságát. Ezt követően újra elvégezve a diszkriminancia analízist a kiértékelés eredményét az 52. ábra szemlélteti.

A kapott eredmény így már az adatok 99,29%-t lefedi, tehát 0,7%-kal pontosabb eredményeket kaptam az előző elemzéshez képest, így elmondható hogy a kiugró értékek nem torzították jelentős mértékben a korábbi eredményeket. Ezt alátámasztja, hogy jelen esetben is ugyanazokat a következtetéseket vonhatjuk le, mint a korábbiakban (50. ábra).

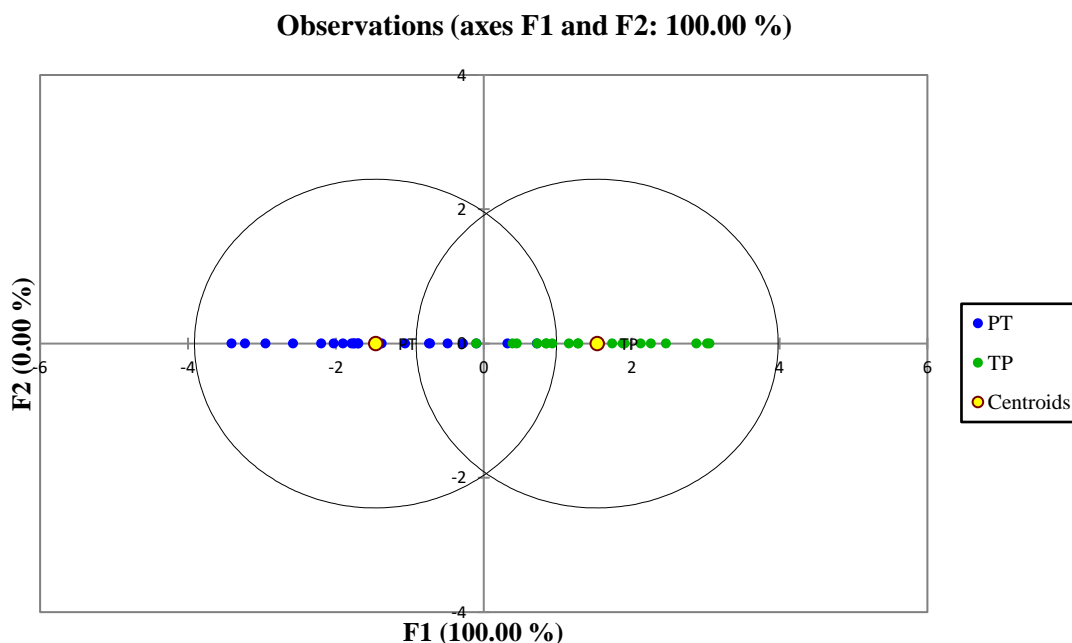
A kapott eredmények között tulajdonképpen párhuzam vonható az érzékszervi eredményekkel, mely esetekben szintén a 2 hétig 15 °C-on tárolt 300 MPa / 55 °C – 55 °C / 300 MPa mintapárt voltak csak képesek szignifikánsan megkülönböztetni egymástól a bírálók, vagyis csak a 15 °C-os tárolást követően és csak az alacsony kezelési szinteken jelentkezett különbség a kezelések sorrendjét illetően.



52. ábra Az alacsony (300 MPa / 55 °C – 55 °C / 300 MPa) és magas (600 MPa / 75 °C – 75 °C / 600 MPa) kezelési szintek elektronikus orr szenzor jel-válaszainak diszkriminancia értékelése a tárolási idő (14 nap) és hőmérséklet (2 illetve 15 °C) függvényében, kiugró adatok nélkül.

Ezt követően megvizsgáltam, hogy tapasztalok-e kimutatható különbséget, ha a kezelési szinteket és a tárolást nem vizsgálom külön-külön csoportokban, hanem csak a kezelések sorrendjét, akkor elkülöníthetőek-e a csoportok. Ehhez külön kódokkal jelöltem a sorrendiséget (PT = először

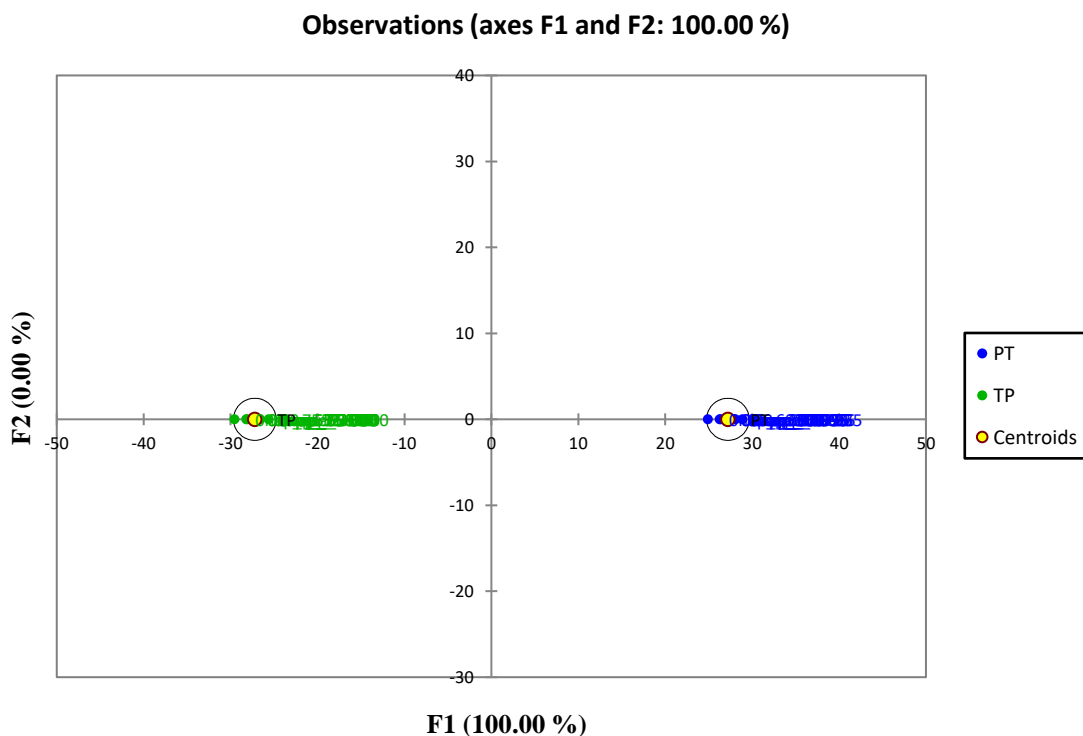
nyomáskezelt, majd hőkezelt; TP = először hőkezelt, majd nyomáskezelt minták). Az eredményeket az 53. ábrán láthatjuk, mely az adatok 100%-át magyarázza.



53. ábra A különböző sorrendű kezelések (PT - először nyomáskezelt, majd hőkezelt; TP - először hőkezelt, majd nyomáskezelt minták) elektronikus orr szenzor jel-válaszainak diszkriminancia értékelése a teljes kombinált kezelési adatsorra

Az ábra alapján a mérési eredmények két torlódási pont körül csoportosulnak, a halmazok között jelentős az átfedés, ahogy a pontok körül kirajzolt ellipszisek is fedik egymást, vagyis a kezelések sorrendje nem volt szignifikáns hatással a számócapürék illékony komponensire.

Azonban további bontásban, ha csak a 0. napi eredményeket vettem össze, továbbra is kizárva a kezelési szinteket és csak a sorrendet vizsgálva, akkor az eltérő sorrendű kezelések között különbséget tudott tenni a vizsgálat (54. ábra), hasonlóképpen a 14 napos 15 °C-os tárolást követően.



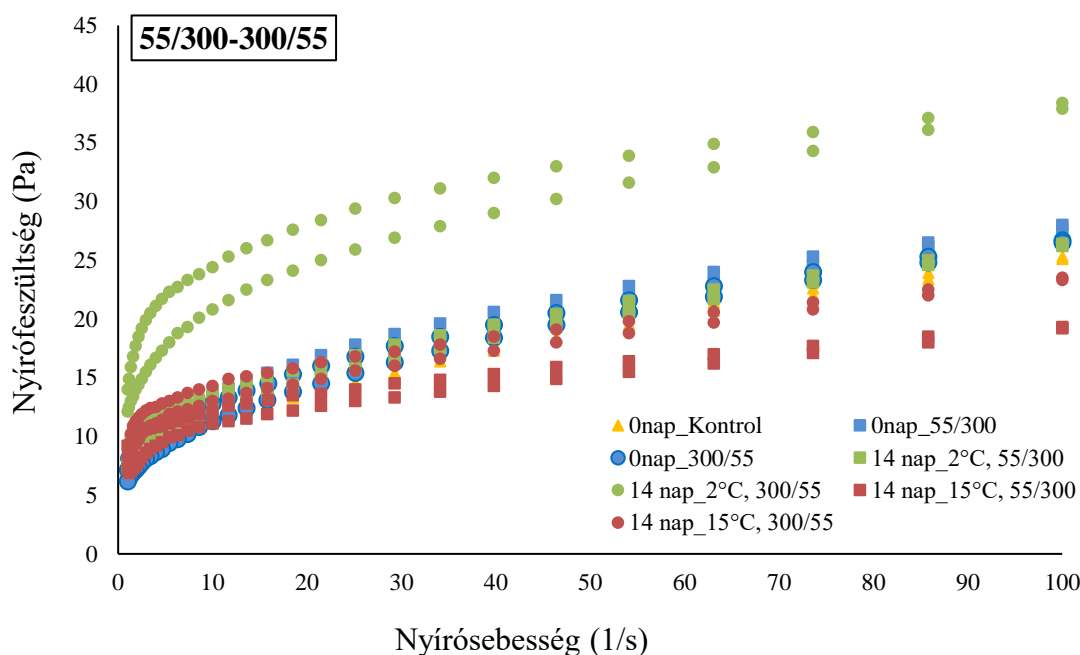
54. ábra A különböző sorrendű kezelések (PT - először nyomáskezelt, majd hőkezelt; TP - először hőkezelt, majd nyomáskezelt minták) elektronikus orr szenzor jel-válaszainak diszkriminancia értékelése a 0. napi kombinált kezelési adatsorra

4.8. Az reológiai vizsgálatok eredményeinek értékelése

Az érzékszervi vizsgálatok során a bírálók által kapott jellemzések alapján a kutatásomat a 3. szakaszban reológiai vizsgálatokkal egészítettem ki, hogy az objektív műszeres mérések alapján milyen összefüggéseket tapasztalhatók a különböző kezelések valamint a tárolás során bekövetkező változásokban.

A számacapüre minták reológiai vizsgálatához rotációs reométer segítségével meghatároztam a minták folyásgörbéjét. A folyásgörbéken a nyírófeszültség változását ábrázoltam a nyírósebesség függvényében. Az 55. ábra illusztrálja az alacsonyabb (55 °C / 300 MPa - 300 MPa / 55 °C) kezelési szintekhez tartozó eredményeket a 0. napon, valamint a 14 napos 2 °C illetve 15 °C-os tárolást követően. Mivel az eddigi eredmények szerint leginkább a tárolás játszott döntő szerepet a minőségi paraméterek változásában, ebben az elrendezésben alapvetően a tárolás idejének, valamint hőmérsékletének hatásait tudjuk vizsgálni, valamint az azonos paraméterű, de eltérő sorrendű kezelések páronkénti összehasonlítását, vagyis a kezelési sorrend hatását. A könnyebb összehasonlíthatóság és az átláthatóság kedvéért a kontroll (kezelés nélküli) mintát itt narancssárga színnel jelöltem. A görbék lefutása nem lineáris és nem az origóból indulnak ki, a τ_0 folyáshatár

megjelenése alapján a minták plasztikus viselkedést mutatnak. A folyáshatár azt mutatja, mekkora minimális nyírófeszültség kellett ahhoz, hogy elkezdjük roncsolni a kialakult állománybéli szerkezetet. Minél nagyobb volt ez az érték, annál erősebb gél szerkezet alakult ki. A vizsgált számacapüré mintákban a nyírófeszültség egyre kisebb mértékben növekszik a nyírósebesség függvényében, azaz a viszkozitás csökken, ha növeljük a deformációsebességet. Tulajdonképpen a számacapürék pszeudoplasztikus viselkedést mutatnak (FIGURA, TEIXERIA 2007). A nagyobb alkalmazott nyírófeszültség hatására a molekulák közötti kölcsönhatás csökken.



55. ábra A számacapürék folyásgörbéinek alakulása az 55 °C / 300 MPa-on illetve 300 MPa / 55 °C-on történő kombinált kezelések hatására

A kontroll mintához képest a kombinált kezelések önmagukban nem okoztak jelentős változásokat, a folyásgörbék lefutása közel azonos. Ez igaz a 14 napos 2 °C-on tárolt először hő- majd nyomáskezelt (55 °C / 300 MPa) mintára is, azonban az először nyomáskezelt majd hőkezelt (300 MPa / 55 °C) párja nagyobb ellenállást mutat a nyírósebesség függvényében, vagyis gélesebb szerkezet jellemezte nagyobb látszólagos viszkozitás értékekkel. Ezt a kezdeti gél szerkezetet a τ_0 magasabb értéke (5,42 Pa) alapján csak nagyobb nyíróerő volt képes elmozdítani. Jelen esetben a folyásgörbe lefutásában megfigyelhető egy jelentős hiszterézis, vagyis a minta tixotróp viselkedést mutat. A tixotrópia más megfogalmazásban azt jelenti, hogy állandó nyírósebesség esetén a nyírófeszültség vagy a viszkozitás időben csökken. Minél nagyobb a hiszterézis területe, annál inkább tixotróp jelleget mutat a minta. Ez jelen esetben a 300 MPa / 55 °C-os minta esetében 240,57 Pa/s, több mint két és félszer nagyobb mint a 55 °C / 300 MPa-os párjának az értéke, mely 89,74 Pa/s. Összehasonlításképpen a kontroll minta értéke 90,61 Pa/s volt.

A gyümölcsök és zöldségek állományváltozásai összefüggésbe hozhatók a sejtfalépítő polimerekben bekövetkező átalakulásokkal az enzimatis és nem-enzimatis reakciók következtében (SILA et al. 2007). A sejtek sérülése miatt a HHP tartósítás megkönnyíti az enzimatis és nem-enzimatis reakciók előfordulását, a kezelés során a sejtek különböző részeiben elhelyezkedő szubsztrátok, ionok és enzimek felszabadulhatnak és kölcsönhatásba léphetnek egymással. Emellett fokozhatja a pektin-metil-észteráz (PME) hatását, csökkentheti a poligalakturonáz (PG) aktivitását (leginkább mérsékelt hőmérsékleten), amelyek szekvenált hatása a pektin lebomlását okozhatja, illetve késleltetheti a termikus lágyulás egyik fő okaként elfogadott β -eliminációt, melyben két szubsztituens elvesztése a szomszédos atomokból (például szén, nitrogén, oxigén) új telítetlen kötés kialakulását eredményezi, ami valószínűleg magasabb hőmérsékleten fordulhat elő (OEY et al. 2008). Ehelyett a PME katalizálja a pektin demetoxilezését, amelynek eredményeként olyan karboxilezett pektin képződik, amely immár fokozottan képes keresztkötetést kötni kétértékű ionokkal (például kalciummal) és merev szupramolekuláris egységeket alkotni, javítva a szövetek erősségét (DE ROECK et al. 2009).

A HHP egyfajta előkezelésként történő alkalmazása így lehetővé teszi a PME által közvetített pektinváltozásokat, hasznosnak bizonyulhat a hőkezelés miatti szövetlágyulás ellensúlyozására (VERLENT et al. 2006). Korábbi tanulmányokban azt is megfigyelték, hogy a száncapüré hűtve tárolása közben képes kifejezetten géles állományt képezni, melyet szintén a pektin-metilészteráznak tulajdonítottak (KNORR 1999, ROVERE 1995).

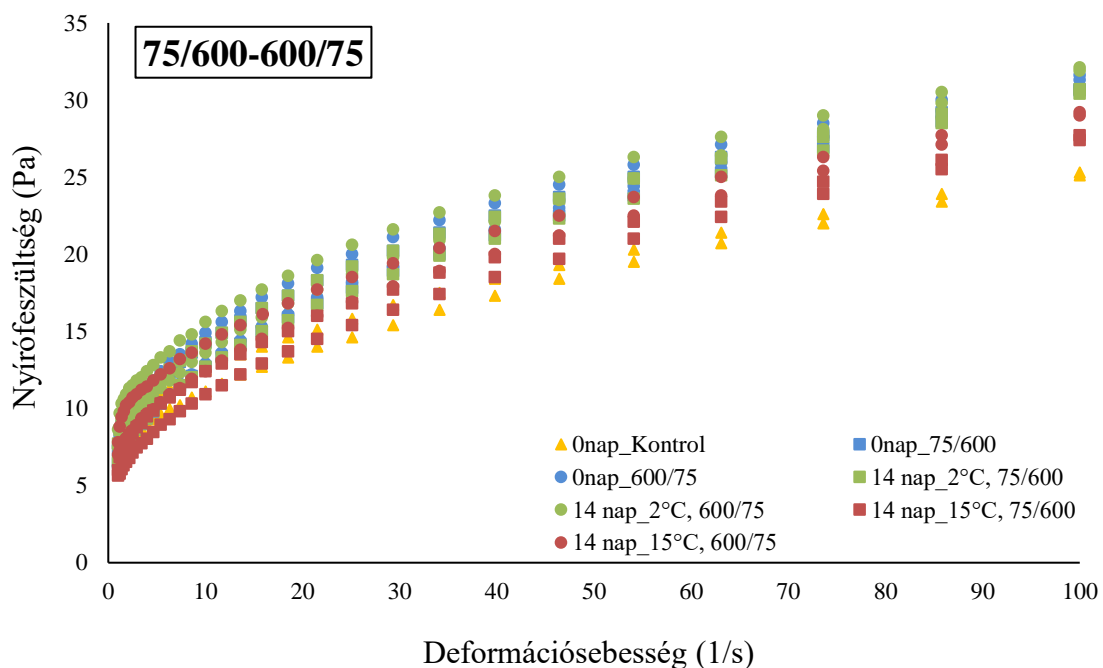
A pektinázok nyomás- és hőmérséklet-stabilitásukban azonban különbségeket mutatnak. Ennek eredményeként különböző nyomás- és hőmérséklet-kombinációk használhatók bizonyos specifikus pektinázok aktiválására vagy inaktiválására a feldolgozás során textúrák létrehozására, amelyek hőkezeléssel nem képződhetnek (LY NGUYEN et al. 2002). A hőkezelés a szövetszerkezet lágyulását/gyengülését indukálja, amit a pektin lebomlása és a sejtek fokozott lazulása bizonyít. Ezzel szemben a HHP alkalmazása szilárdabb szerkezetet eredményezhet emellett a kezeléshez kapcsolódó negatív térfogatváltozás miatt is (SILA et al. 2008).

Kombinált nyomás- és hőkezelés hatását vizsgálták paradicsom homogenizátum konzisztenciájának, viszkozitásának és viszkoelaszticitásának változására 30 °C és 70 °C közötti hőmérsékleten és 100 – 500 MPa közötti nyomáson. A paradicsom homogenizátum viszkozitása jelentősen csökkent 400 MPa nyomáskezelést követően, azonban magasabb nyomásszinteken, mint például 500 MPa esetében 60 °C-ig terjedő hőmérsékletekkel kombinálva növekedett. Valamennyi vizsgált körülmény közül a paradicsom homogenizátum legnagyobb konzisztenciavesztése a kombinált nyomás- és hőkezelés után 300 MPa-n volt, minden vizsgált hőmérsékleten (VERLENT et al. 2006).

A magasabb hőmérsékletű 15 °C-os tárolást követően a minták nyírófeszültsége csökkent a kontroll mintához képest, az először hőkezelt mintáké valamelyest jobban, mint az először nyomáskezelt mintáké, vagyis a minták szerkezete kisebb ellenállást mutatott a deformációs erőhatással szemben. Az állománya ezeknek a mintáknak szemmel láthatóan hígabban folyóssá, lazább szerkezetűvé változott, melyek korrelálnak az érzékszervi kiértékelések során a megjegyzésekben feltüntetett eredményekkel.

A 56. ábra mutatja be a magasabb kezelési szintek (75 °C / 600 MPa – 600 MPa / 75 °C) eredményeit hasonló ábrázolási elrendezésben. A folyásgörbék alapján minden esetben a kontroll mintához képest magasabbak a nyírófeszültség értékek, vagyis a magasabb kezelési paramétereknek köszönhetően minden esetben, még a 14 napos 15 °C-on történő tárolást követően nagyobb ellenállást mutattak a minták a deformációs erővel szemben, vagyis egy erősebb szerkezetű állomány alakult ki a minták esetében. A folyásgörbék alapján itt is a 15 °C-os tárolás alacsonyabb nyírófeszültség értékeket mutatott, mint a 0. napos vagy 2 °C-on tárolt minták eredményei. CAO és munkatársai (2012) is arról számolnak be, hogy kutatásaik során a viszkozitásbeli változások számottevőek voltak a tárolások során, illetve hogy a magasabb hőmérsékletű (25 °C) tárolás során intenzívebben csökkent a rostos számócalevek viszkozitása, mint alacsonyabb (4 °C) hőmérsékletű tárolás során.

A kezelések kivitelezésének sorrendjét illetően nem vélek felfedezni jelentős különbségeket, az azonos színű folyásgörbék lefutása egymáshoz képest igen hasonló.



56. ábra A számócapürék folyásgörbéinek alakulása az 75 °C / 600 MPa-on illetve 600 MPa / 75 °C-on történő kombinált kezelések hatására

Az alacsonyabb paramétereken kezelt minták (300 MPa és 55 °C) jobban elkülönültek a magasabb paramétereken kezelt minták eredményeitől (600MPa és 75 °C), ami azt jelenti, hogy jelen esetben nem a sorrendiség, hanem a kezelési paraméterek szintje határozta meg a számócapürék reológiájában bekövetkező változások mértékét.

A következőekben a Herschel-Bulkey modell alapján számolt nyírófeszültség görbéjének egyenletét (4. egyenlet), illetve azok paramétereit vizsgálom, melyet a 15. táblázat mutat be minden egyes minta esetében. A táblázat részletesen leírja, hogy a Herschel-Bulkey modell által számolt egyenlet paramétereit hogyan viszonyulnak egymáshoz a tárolási idő, a kezelési paraméterek és a sorrendiség függvényében.

A modell illesztések korrelációs együtthatói 0,917-0,991 között változnak, melyek szerint az illesztett modellek jól leírják a számócapürék viselkedését. 2 esetben nem sikerült csak jól a modellillesztés, az önmagában 600 MPa kezelésben részesült, 2 hétig 2 illetve 15 °C-on tárolt számócapüré minták esetében. Ezekben a számócapürémintákban szemmel láthatóan is egy erős gél szerkezet alakult ki a 14 napos tárolás során, a mért folyásgörbe számszerű eredményei pedig egy igen magas kezdeti τ_0 folyáshatárt mutatnak (207 és 145 Pa), mely utal a minta plasztikus jellegére. Ezekben az esetekben a modell nem volt illeszthető az eredményekre, így a többi számított tényező nem értelmezhető.

Az önmagában 300 MPa kezelésben részesült, 14 napig 2 illetve 15 °C-on tárolt számócapüré minták esetében is megfigyelhető, hogy a kezdeti τ_0 folyáshatár értékek (10,74 és 18,55 Pa) magasabbak voltak, mint a többi mintára jellemző tartomány értékhatárai (2,66-5,42 Pa). Ez szintén arra enged következtetni, hogy az önmagában alkalmazott nyomáskezelések hatására a tárolás folyamán egy gélesebb szerkezet jön létre a számócapürék állományában. Erre engednek következtetni a folyásgörbék hiszteréziseinek területei is (654,1 és 150 Pa/s), melyek szintén kívül esnek a többi minta értéktartományán (79,26-135,91 Pa/s). Ezekben a mintákon kívül még a kezelések napján vizsgált 600 MPa kezelésben részesült számócapüré minta hiszterézis területe mutat kiugró értéket (151,75 Pa/s). Így tulajdonképpen ezekre a mintákra jobban jellemző a tixotróp jellegű viselkedés.

A PME nyomáskezelés alatt igen stabil (LY NGUYEN et al. 2002), és a fentebb leírt enzim indukált változások ebben közrejátszhattak. AABY és munkatársai (2018) eredményei alapján a legnagyobb viszkozitást szintén 600 MPa nyomással kezelt számócapürékben tapasztalták. DALMADI (2009) kísérlete a tárolási hőmérséklet csökkenésével egyre nagyobb konzisztencia-faktossal modellezhető viszkózusabb állományú számócapürét eredményezett a nyomáskezelésnek köszönhetően. Az állomány ilyen irányú változása már a 14. napra kialakult.

15. táblázat A kezelt számóca minták folyásgörbéire illesztett Herschel-Bulkey modell által számolt paraméterek

Minta	Folyáshatár (τ_0)	Konzisztencia index (K)	Folyásindex (n)	R ²	Hiszterézis területe (Pa/s)
Kontroll	4,4473	2,7418	0,43228	0,97402	90,61
0.nap_55 °C	4,1006	3,1159	0,44330	0,98639	90,07
0.nap_75 °C	4,0744	3,5483	0,42882	0,98034	116,34
0.nap_300 MPa	4,8475	2,3662	0,48281	0,97829	105,43
0.nap_600 MPa	2,8198	4,5567	0,40687	0,97782	151,75
0. nap_55 °C 300 MPa	4,0926	3,1947	0,43504	0,98300	98,20
0. nap_300 MPa_55 °C	4,2856	2,6638	0,46073	0,98125	99,71
0. nap_75 °C 300 MPa	4,0737	3,4941	0,43463	0,98605	105,53
0. nap_300 MPa_75 °C	3,9122	3,4182	0,42742	0,98251	102,57
0. nap_55 °C 600 MPa	3,6726	3,8564	0,43022	0,98663	108,42
0. nap_600 MPa_55 °C	2,7788	4,0064	0,42403	0,98275	133,49
0. nap_75 °C 600 MPa	3,1280	3,8469	0,42782	0,98848	107,33
0. nap_600 MPa_75 °C	2,6935	4,2622	0,41508	0,98214	135,91
0.nap_65 °C 450 MPa	2,9887	3,9292	0,41574	0,97668	131,80
0.nap_450 MPa_65 °C	2,8695	3,9116	0,41847	0,97956	125,31
2 hét 2 °C 55 °C	4,9342	2,9415	0,41393	0,97379	102,37
2 hét 2 °C 75 °C	4,1698	3,3198	0,43211	0,98644	88,43
2 hét 2 °C 300 MPa	10,742	7,0809	0,48511	0,93117	654,10
2 hét 2 °C 600 MPa	9,8545	0,1949	1,02270	0	843,08
2 hét 2 °C 55 °C 300 MPa	5,4186	2,7913	0,43022	0,97781	89,74
2 hét 2 °C 300 MPa_55 °C	-2,6386	15,781	0,20208	0,94269	240,57
2 hét 2 °C 75 °C 300 MPa	4,0564	3,1354	0,43978	0,98692	100,24
2 hét 2 °C 300 MPa_75 °C	4,2969	3,1502	0,44296	0,98572	101,75
2 hét 2 °C 55 °C 600 MPa	3,7903	4,1981	0,41656	0,98858	111,49
2 hét 2 °C 600 MPa_55 °C	-93,078	111,58	0,07361	0,93612	470,61
2 hét 2 °C 75 °C 600 MPa	3,6857	3,4979	0,44350	0,98661	114,37
2 hét 2 °C 600 MPa_75 °C	4,7100	3,5241	0,44470	0,98119	132,09
2 hét 2 °C 65 °C 450 MPa	4,5636	2,9612	0,44977	0,98444	93,88
2 hét 2 °C 450 MPa_65 °C	3,9263	2,9280	0,44931	0,98165	112,42
2 hét 15 °C 55 °C	3,2261	3,7202	0,42923	0,98482	114,39
2 hét 15 °C 75 °C	3,8793	2,8072	0,44330	0,98835	81,08
2 hét 15 °C 300 MPa	18,548	0,2464	1,02550	0,94656	150,03
2 hét 15 °C 600 MPa	1235,0	-1143,5	0,01000	0,69695	-547,49
2 hét 15 °C 55 °C 300 MPa	2,6599	4,9568	0,25003	0,94143	85,09
2 hét 15 °C 300 MPa_55 °C	3,0273	5,9177	0,25520	0,96220	95,07
2 hét 15 °C 75 °C 300 MPa	4,4262	3,1962	0,42622	0,98293	100,87
2 hét 15 °C 300 MPa_75 °C	4,7181	3,3652	0,42395	0,97904	113,06
2 hét 15 °C 55 °C 600 MPa	29,523	0,1378	1,14410	0,91756	-22,89
2 hét 15 °C 600 MPa_55 °C	-18,834	34,570	0,18084	0,97294	323,04
2 hét 15 °C 75 °C 600 MPa	3,0246	2,9989	0,45558	0,98951	104,00
2 hét 15 °C 600 MPa_75 °C	4,6896	3,0407	0,45046	0,98178	117,89
2 hét 15 °C 65 °C 450 MPa	3,5430	2,5289	0,45632	0,99127	79,26
2 hét 15 °C 450 MPa_65 °C	4,7134	2,8359	0,44350	0,97586	114,04

A 2 hétig 2 °C-on tárolt 300 MPa / 55 °C minta esetében a Herschel-Bulkley modell illesztése megfelelő ($r^2 = 0,942$, azonban a τ_0 (HB:-2,63 Pa/s, folyásgörbe szerint 14 Pa/s) eredmények mégsem a folyásgörbét jellemzik (55. ábra). Ebből adódóan a modell illesztése valószínűsíthetően mégsem megfelelő, akárcsak a 600 MPa / 55 °C esetében (HB:-93,08 Pa/s, folyásgörbe szerint 25,3 Pa/s). A 15 °C-on tárolt 55 °C /600 MPa minta τ_0 eredeti folyáshatár 39,8 Pa/s, illetve a 600 MPa / 55 °C minta esetében 20,8Pa/s. Ezeknek a mintáknak a közös tulajdonsága, hogy a többi mintától jelentősen magasabb folyáshatárral rendelkeznek, mely utal a minták kezdeti plasztikus viselkedésére, azonban szintén ennek a kezdeti magasabb folyáshatárnak köszönhetően nem egyenletes a folyásgörbék lefutása, hanem a kezdeti folyáshatárt követően a görbék elején olyan törések vannak, mely zavart okozhat a H-B modell illesztésében, így ezeknél az eseteknél el kell tekintenünk a modellillesztés lehetőségétől. Eredményeimet BODELÓN és munkatársainak megfigyelései magyarázhatják, mivel kutatásuk szerint a pektin-metilészteráz szignifikánsan csökkent az 50 °C hőmérsékleten nyomás (100 – 400 MPa / 15 perc, 20 °C vagy 50 °C) alatt álló számócapürében, és figyelemre méltó, hogy ezzel az enzim inaktiválással az eperpürében nem találtak gélhálózat képződést. Ugyanakkor 20 °C-on történő kezelés hatására nem csökkent szignifikánsan a PME szintje, így a 20 °C-on nyomáskezelt mintákban gél-hálózat kialakulását figyelték meg a 6 hónap hűtve tárolás során (BODELÓN et al. 2013). Lehetséges, hogy kutatási eredményeim során szintén az játszott közre, hogy a magasabb kezelési hőmérsékleten a PME jelentősebb mértékben inaktiválódott, így nem alakult már ki az erősebb gélszerkezet 55 °C feletti hőkezelést követően.

4.9. Az eredmények kiértékelése többtényezős (MFA, Multiple Factor Analysis) statisztikai módszerrel

A többszörös faktorelemzés (Multiple Factor Analysis, MFA) lehetővé teszi több változó, különböző struktúrájú (különböző dimenziókkal rendelkező) adathalmaz közötti kapcsolatok egyidejű elemzését és olyan eredmények megszerzését, különösen diagramokat, amelyek lehetővé teszik a különböző változók és azok adathalmazai közötti kapcsolat tanulmányozását (ESCOFIER, PAGÈS 1994). Az MFA tulajdonképpen minden változó adathalmazán külön főkomponens analízist (Principal Component Analysis, PCA) végez el és ezek összevont eredményét képes úgynevezett „score-plot” diagramokon bemutatni. Mivel a PCA elemzéseket követően az első 2 eigenértéket eltárolja, majd azokat a következő lépésben súlyzófaktoroként alkalmazza a súlyozott PCA számításban a teljes adatmátrixon. Ennek eredményeként az MFA nemcsak az eredményekhez tartozó számértékeket és súlyzófaktorokat képes megjeleníteni, hanem a különböző vizsgált változók hatását is. A változók száma csoportonként eltérő lehet, de a változók jellegének egy csoporton belül azonosnak kell lennie.

E sokdimenziós térredukciós matematikai módszer segítségével a számacapürék különböző kezelésekre hatására bekövetkező minőségi paramétereket érintő változásai komplexen jellemezhetővé válnak. Információt kaphatunk a különböző befolyásoló tényezők közötti hasonlóságokról, illetve különbségekről, hogy melyik tényező milyen mértékben játszott közre a különböző változásokban.

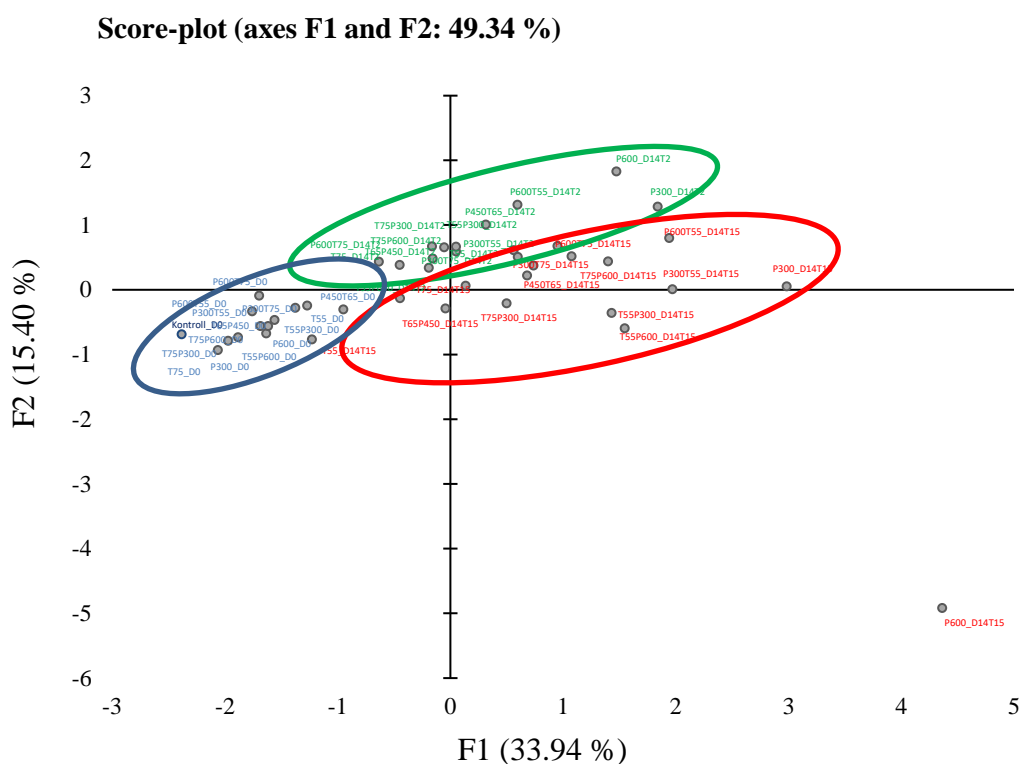
Az MFA bemeneti adatmátrix jelen esetben négy csoportosított blokkból (Színezet: L*, a*, b*; Bioaktív komponensek: antocianintartalom, összpolicenoltartalom, antioxidáns kapacitás; Illékony komponensek: 22 szenzor; Állomány: folyáshatár, konzisztencia, folyásindex, hiszterézis területe) tevődik össze, a sorokban a vizsgálati minták, az oszlopokban a mért jellemzők állnak. Az adatok különböző skálán mért jellege miatt (n-1) standardizálást választottunk a kiértékelés során (PODANI 2000, ABDI 2003, ESCOFIER, PAGÈS 1994). Az elemzéseket az XL-Stat szoftverrel (Addinsoft, New York, USA) hajtottuk végre.

Számos elgondolás létezik azzal kapcsolatban, hogy hány főkomponenst célszerű figyelembe venni az elemzések során: magyarázott variancia, sajátérték nagysága, hegyomlás ábra stb. Az eredményeket jellemzően az első néhány főkomponens bevonásával mutatják be (BOROSY, HORVAI 2001). A különböző változók együttes térbeli csökkentése után egy 32 dimenziós teret kaptunk, amelyből azonban az első 10 főkomponens már a teljes variancia 95% -át magyarázta (16. táblázat). Az egyes változók hozzájárulását a faktorokhoz azok korrelációs együtthatójukkal számoltuk.

16. táblázat MFA sajátértékei, varianciái és kumulatív variancia értékei

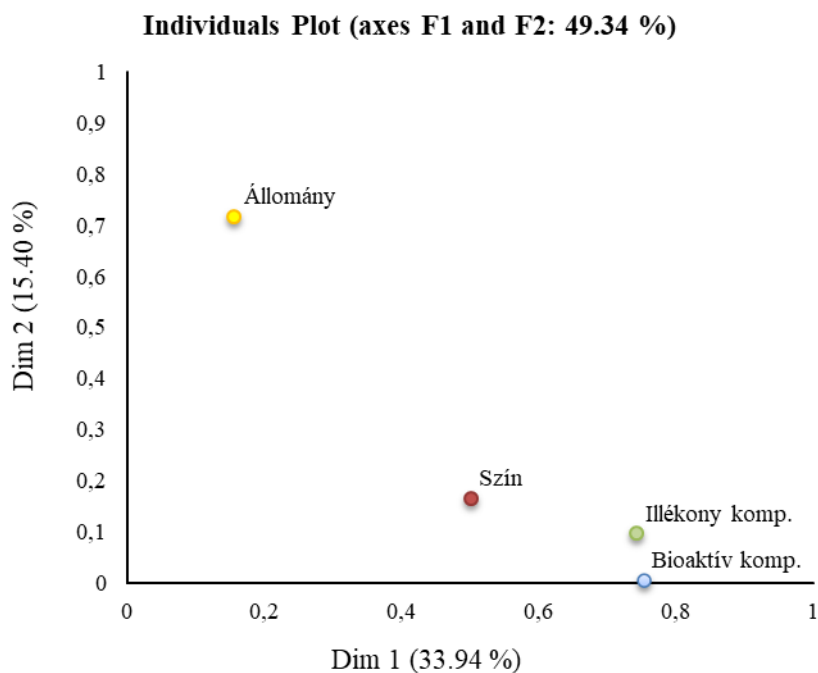
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Sajátérték	2,157	0,979	0,913	0,536	0,433	0,363	0,257	0,219	0,131	0,103
Variancia (%)	33,937	15,401	14,367	8,436	6,819	5,712	4,046	3,444	2,065	1,619
Σ Variancia (%)	33,937	49,338	63,706	72,142	78,960	84,672	88,718	92,162	94,228	95,847

Az 57. ábra illusztrálja az MFA elemzés „score-plot” diagramját. A kék színnel jelölt pontok a 0. napos eredményeket, a zöld színnel jelöltek a 14 nap 2 °C-os tárolást követő, míg a piros színnel jelölt pontok a 14 napos 15°C-os tárolást követő eredményeket jelölik.



57. ábra A szín-, bioaktív komponensek-, illékony komponensek- és reológiai változások MFA elemzésének „score-plot” diagramja a tárolási idő és hőmérséklet szempontjából

Az F1 és F2 főkomponensek a teljes variancia 49,34%-át magyarázza, mely figyelembe véve a vizsgált változók mennyiségét, valamint azok adathalmazainak eltérő dimenzióit nem számít rossz eredménynek. Az ábrán jól látható, hogy a különböző színekkel jelölt csoportok jól elkülönülnek egymástól. A kezelést követő vizsgálatok eredményei a diagram bal alsó területén helyezkednek el, negatív tartományban, míg a 14 napig tárolt minták eredményei a jobb oldalon és inkább a pozitív tartományban. A tárolás szempontjából a csoportok az F1 főkomponens iránya mentén különültek el, és ezek magyarázzák a variancia legnagyobb részét (33,94%). A 2 °C-os illetve 15



59. ábra A szín-, bioaktív komponensek-, illékony komponensek- és reológiai változások MFA elemzésének „individuals-plot” diagramja

Az 59. ábra szemlélteti a különböző befolyásoló tényezők (változók) elemzését elhelyezkedésük szerint, hogy milyen mértékben vesznek részt és magyarázzák az egyes faktorok (dimenziók) varianciáit. A térbeli elhelyezkedésük alapján arra következtethetünk, hogy a bioaktív komponensek és az illékony komponensek értéke közel vannak 1-hez az x tengely mentén, magas értéket képviselve, vagyis az 1 dimenzió szorosan kapcsolódik/kötődik ezekhez a csoportokhoz. Ezzel szemben az állomány elhelyezkedése lényegesen távolabbra esik, kevésbé kötődik az első dimenzióhoz, sokkal inkább a 2. dimenzióhoz, ezáltal döntően magyarázza a 2. dimenzió varianciáját. A bioaktív komponensek és az illékony komponensek elhelyezkedésük alapján 2 dimenzióban is hasonlóságot mutatnak, vagyis ezek a változók esetében hasonló struktúrájú (irányú és mértékű) változásokat tapasztalhatunk a számócapüré minták esetében, vagyis elképzelhető lehet valamilyen összefüggés a változások között. A színezetbeli változások szintén mivel közel vannak az x tengelyhez, így sokkal inkább az első dimenzióhoz kötődnek-mely a variancia nagyobb hányadát magyarázza, és közelebb állnak az illékony komponensek-eorr csoportokhoz, vagyis színezetben bekövetkező változások struktúrája is ehhez jobban hasonlít. Ha kiszámítjuk az összes kovarianciát a különböző változók varianciái között és a változók súlyozva vannak az MFA szerinti súlyozással akkor megkapjuk az Lg koeficiens értékeket (17. táblázat), további információkat kapva a változó csoportok közötti kapcsolatokról. A változók egyenértékeinek összefüggései alapján az Lg koeficiens tulajdonképpen az egyes változók dimenzionalitás indikátora. Az illékony komponensek értéke a legmagasabb, vagyis a leginkább

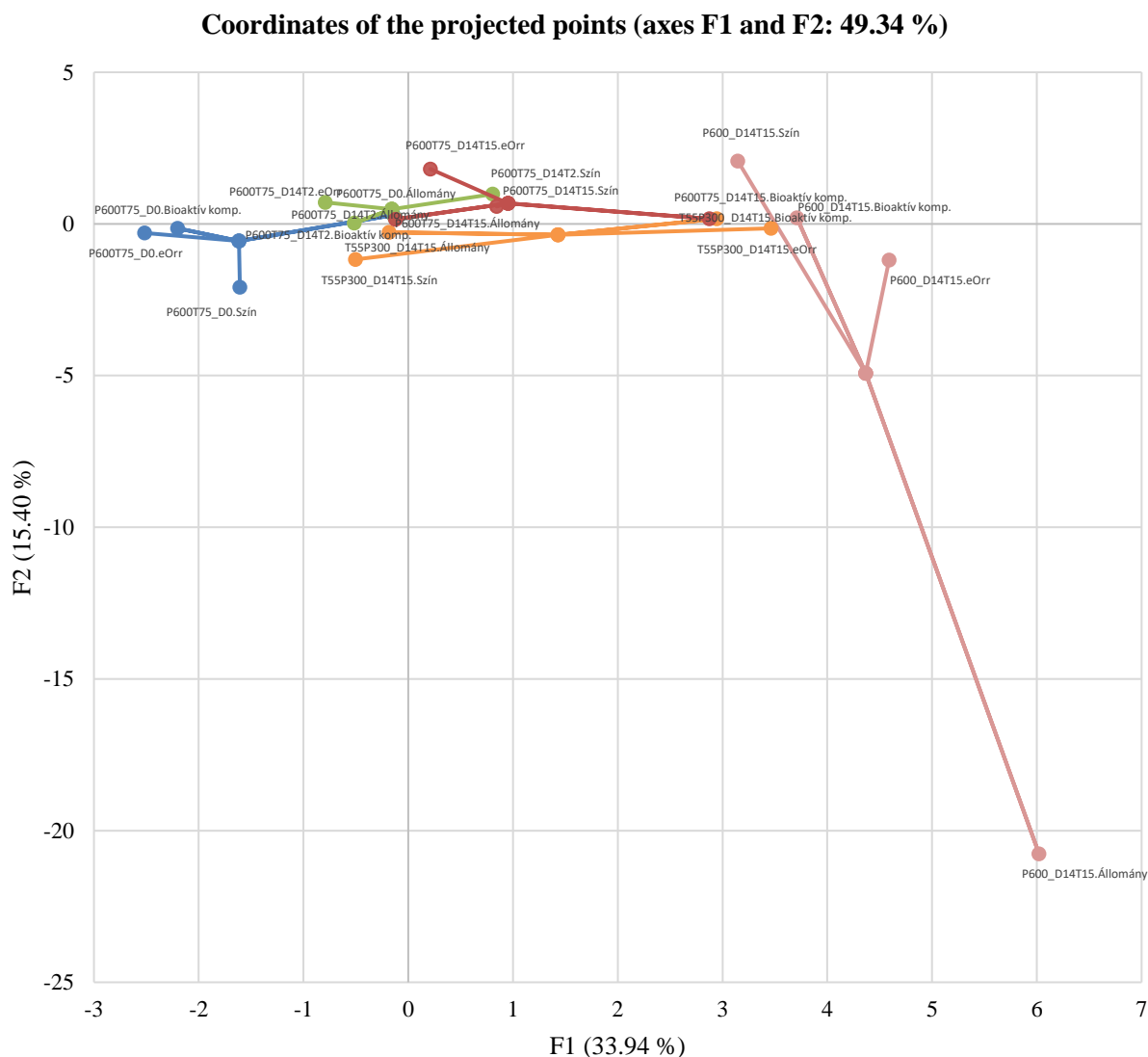
változások. Az ábra alapján a bioaktív komponensek tényezői alapvetően nem különülnek el egymástól. Azonban a színezeti tényezőket megvizsgálva elmondható, hogy az a^* vörös és b^* sárga színtényezők irányvektorai közel azonos irányba mutatnak és a vektorok nagysága is hasonló, míg az L^* világossági színtényező irányvektora más irányba mutat és vektorának nagysága is jóval kisebb. Az L^* színtényező irányvektora leginkább a reológiai tényezők irányához áll közel. A számócapürék szerkezeti viselkedése és a szín közötti kapcsolatra OEY és munkatársai (2008) hívják fel a figyelmet, miszerint az állományban bekövetkezett változások hatással lehetnek a felületi szín jellemzőinek műszeresen mért értékeire. A gélesedő mintába behatoló fény szóródása és eloszlása megváltozhat, s ez magával vonhatja a mért színjellemzők változását is. Érdekes módon a konzisztencia és a folyáshatár irányvektora egymással majdnem teljesen ellentétes irányú, melyben feltételezhetően közrejátszik, hogy nem minden esetben volt megfelelő a H-B modell illesztés és ez torzíthatja jelen esetben az eredményeket. Emellett az eOrr néhány érzékelője, valamint az a^* és b^* irányvektorai között figyelhetünk meg azonos irányokat, mely utalhat arra, hogy ezek változásai azonos irányúak voltak.

Az 61. ábrán vehetjük szemügyre az egyes mintákhoz tartozó részpontokat, illetve azok elhelyezkedését mely utal a különböző változók hatásaira. Egy egy mintának annyi részpontja van ahány változó varianciájában szerepel. A minták középpontjai pedig összhangban van azoknak a teljes analízisben elfoglalt helyzetével. A középpont a részpontokhoz képest azok baricentrumában, vagyis tömegközéppontjában helyezkedik el.

A részpontok reprezentációi igen hasznosak, mivel lehetővé teszik az különböző változók részpontjainak összehasonlítását egy-egy mintára vonatkoztatva. Ha az egyes változókhoz tartozó részpontok közel kerülnek egymáshoz, vagyis közel kerülnek a középponthez, akkor a különböző változók varianciái összhangban vannak. Ha a részpontok egymástól távol helyezkednek el, akkor nincsenek összhangban. A részpontok közötti távolság ábrázolása egy lehetséges módja a köztük lévő disszonancia szemléltetésére.

Az 600 MPa / 75 °C kombinált kezelésben részesített minta a kezelést követően nem mutatott az átlagosnál intenzívebben eltérő változásokat a vizsgált paraméterekben a kezeléseket követően. Az egyes részpontok így relatíve közel helyezkednek el a minta centrumpontjához. Összehasonlítva a 600 MPa / 75 °C 14 napig 2 °C-on tárolt minta eredményeivel azt láthatjuk, hogy a részpontok és a centrumpontok közötti távolságok igen hasonlóak, vagyis az alacsony hőmérsékletű tárolást követően a mintán megfigyelhető változások mértéke közel azonos a kezeléseket követő állapottal. Azonban a 14 napig 2 °C-on tárolt mintákhoz tartozó rész és centrumpontok az F1 dimenzió mentén jobbra tolódva helyezkednek el, mely dimenzió varianciáját leginkább a bioaktív, valamint illékony komponensekben bekövetkező változások teszik ki. A 600 MPa / 75 °C 14 napig 15 °C-on tárolt minta esetében pedig a rész és centrumpont

még inkább elmozdultak az F1 dimenzió mentén, valamint a részpontok, különösen az állományhoz tartozó részpont távolsága növekedett a centrumponthoz viszonyítva, utalva a mintában lezajló változások intenzívebb jellegére a magasabb tárolási hőmérsékleten.



61. ábra. Az MFA elemzés különböző változóihoz tartozó részpontok kivetülései a vizsgált minták esetében

Ha az eddigi eredményeket egy alacsonyabb szintű és eltérő sorrendű kezelésben részesített minta eredményeihez hasonlítjuk, jelen esetben az 55 °C / 300 MPa kezelt 14 napig 15 °C-on tárolt minta eredményeihez, akkor azt vehetjük észre, hogy a részpontok lényegesen távolabb helyezkednek el a minta centrumpontjához képest, ezzel is utalva a változások intenzívebb mértékére. A minta színezeti, reológiai, bioaktív és illékony komponensbeli változásai egyaránt intenzívebbek voltak a 14 napos tárolás során, jellemezve hogy az alacsonyabb szintű kezelések kevésbé akadályozzák/óvják meg a mintát a tárolás során bekövetkező változásoktól.

Az önállóan 600 MPa nyomáskezelt, 14 napig 15 °C-on tárolt minta esetében az állományhoz tartozó részpont extrémén eltávolodik a 2. dimenzióhoz köthető varianciában. A többi részpontot megfigyelve azt tapasztalhatjuk, hogy nem az F1 hanem sokkal inkább az F2 dimenzió mentén tapasztalhatjuk az igazán jelentős eltérést, a legnagyobb távolságot a középpont és az állomány rész pont között, vagyis a változások összességének döntő hányada a minta állományában következett be.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A számoça termesztése, feldolgozása és felhasználási köre világszinten növekvő tendenciát mutat, melyben egyre nagyobb szerep jut a kíméletes tartósítási technológiáknak is, melyeket gyakran egymással kombinálva alkalmaznak, hogy a tárolás során is a lehető legkedvezőbb szinten biztosítsák a termékekre jellemző eredeti frissességet.

A doktori munkám során a nagy hidrosztatikus nyomáskezelés kíméletes hőkezeléssel kombináltan történő alkalmazását vizsgáltam számoçapürék esetében. Mivel a kombinált kezelések szimultán történő kivitelezése ipari körülmények között még nem megoldott, így alapvető célom volt feltárni az egyes kezelések különböző sorrendben történő kivitelezése közti különbségeket. A nyomás- (300 és 600 MPa) és hőkezelt (55 és 75 °C) számoçapüré minták az önálló és kombinált kezelések esetében is 14 napig biztonságosan eltarthatónak bizonyultak 2 és 15 °C-os hűtve tárolás esetén is. A színezetbeli és a bioaktív komponensekben bekövetkező változások alapján a kombinált kezelések, különösen magasabb kezelési szinten végezve (600 MPa / 75 °C) a kezelést, kedvezőbbnek bizonyult a számoçapürék fentebb említett minőségi paramétereinek a megőrzésében mind a kezelést követően mind a tárolás folyamán is. A változások döntő része a tárolás alatt következik be, mely a szakirodalmi tanulmányok alapján leginkább az endogén enzimek aktivitásának köszönhető. Az alacsonyabb hőmérsékletű (2 °C) tárolás kedvezőbbnek bizonyul a változások megelőzésében, mint a magasabb (15 °C) tárolási hőmérséklet. A 2ⁿ faktoriális kísérletterv eredményei alapján megállapítható, hogy a nyomáskezelés és hőkezelés kombinált alkalmazása során a kezelési szintek növelésével az eredmények nem elsőrendű kinetika alapján változnak.

Az érzékszervi bírálatok, valamint az illékony komponensek vizsgálata alapján a magasabb (600 MPa / 75 °C) szintű kezelési paraméterek alkalmazásának segítségével a 14 napos 15°C-n történő tárolás során sem történtek lényeges változások, azonban az alacsony (300 MPa / 55°C) kezelési paramétereken kivitelezett kombinált kezelések kevésbé bizonyultak hatékonyak, a mintapárok között különbségeket tapasztaltam, melyek alapján az először alkalmazott nyomáskezelés kedvezőbbnek bizonyult. Hasonlóképpen a számoçapürék reológijának tekintetében az először nyomáskezelt minták kedvezőbb reológiai tulajdonságokkal rendelkeztek, mint a fordított sorrendben kivitelezett kombinált kezelésben részesült minták, valamint az alacsonyabb tárolási hőmérséklet alkalmazása bizonyult kedvezőbbnek.

Ezáltal a kombinált kezelések ipari alkalmazásához javasolt magasabb szintű nyomás- és hőkezelési paraméter választása, melyet minden esetben átfogó kinetikai vizsgálatokkal kell validálni. A termékek tárolásához javasolt alacsonyabb tárolási hőmérsékletet választani. A

kezelések sorrendjét illetően ajánlott először a nyomáskezelést elvégezni a hőkezelés előtt a kedvezőbb végeredmény érdekében.

6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Megállapítottam, hogy a 300 vagy 600 MPa-os 5 perces szobahőmérsékleten végzett nagy hidrosztatikus nyomáskezelések és az 55 vagy 75 °C-os 10 perces kíméletes hőkezelések kombinált alkalmazásai élelmiszerbiztonsági szempontból minden esetben megfelelően biztosítják a szamócapürék eltarthatóságát 14 napig 2 és 15 °C-os tárolási hőmérsékleten is.
2. Kimutattam, hogy az önállóan alkalmazott nyomás- (300 vagy 600MPa, 5 perc, szobahőmérséklet) vagy hőkezeléssel (55 vagy 75 °C, 10 perc) szemben azok kombinált, együttes alkalmazása során stabilabban megőrizhető a szamócapürék színezete és bioaktív komponenseinek (összes antocianin- és -fenol tartalom, antioxidáns kapacitás) mennyisége a kezeléseket követően és a tárolás során egyaránt, különösen azokban az esetekben, ahol a kombinált kezelés tartalmazza valamelyik magasabb szintű (75 °C vagy 600 MPa) kezelési paramétert.
3. A 2ⁿ faktoriális kísérletterv eredményei alapján megállapítottam, hogy a nyomáskezelés (300 vagy 600 MPa, 5 perc, szobahőmérséklet) és hőkezelés (55 vagy 75 °C, 10 perc) kombinált alkalmazása során a kezelési szintek növelésével a szamócapürék színezetében, valamint bioaktív komponens tartalmában (összes antocianin- és -fenol tartalom, antioxidáns kapacitás) bekövetkező változások nem elsőrendű kinetika alapján történnek.
4. Az érzékszervi bírálatok különbségpróba eredményei, valamint az illékony komponensekben bekövetkező változások alapján kimutattam, hogy a szamócapüréken alkalmazott különböző sorrendű alacsony illetve magas szintű kombinált kezelések (300 MPa / 55 °C – 55 °C / 300 MPa és 600 MPa / 75 °C – 75 °C / 600 MPa) között nem tapasztalható különbség. A 14 napos 15 °C-on történő tárolást követően a magas szintű kezelések (600 MPa / 75 °C – 75 °C / 600 MPa) között továbbra sem tapasztalható különbség, azonban az alacsony szintű (300 MPa / 55 °C – 55 °C / 300 MPa) kombinált kezelések sorrendjét illetően a minták megkülönböztethetőek.
5. Megállapítottam, hogy a kombinált kezelések sorrendjét illetően a szamócapürék színezetbeli, érzékszervi és reológiai tulajdonságaiban bekövetkező változások tekintetében kedvezőbbnek bizonyul, ha először a nyomáskezelést alkalmazzuk (300 vagy 600 MPa, 5 perc, szobahőmérséklet), mint a hőkezelést (55 vagy 75 °C, 10 perc).

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Az élelmiszer tartósítás területén egyre nagyobb arányban alkalmaznak olyan alternatív élelmiszer tartósítási technológiákat, melyekkel hatékonyan megőrizhető az élelmiszerek eredeti frissessége valamint kedvező beltartalmi értéke, tekintettel a társadalom egyre inkább egészségtudatos életmódjára. Nem kivétel ez alól a szamóca élelmiszeripari tartósítása sem.

A szamóca az egyik legnépszerűbb bogyós gyümölcs, melyet világszerte termesztenek, részaránya az összes bogyós gyümölcsből eléri a 60-65%-ot. Kiemelkedő mennyiségeket tartalmaz az olyan jótékony hatású antioxidáns jellegű vegyületekből mint a flavonoidok, azokon belül is az antocianinokból (perlargonidin-3-glükózid és cianidin-3-glükózid), melyek antioxidáns szereppel rendelkeznek és megvédik szervezetünk egészségét a különböző stressz hatások következtében keletkező veszélyes szabad gyököktől, segítve ezzel immunrendszerünk megfelelő működését. Ezek sajnos igen érzékeny vegyületek, könnyen elvesztik stabilitásukat a tartósítás és a tárolás során a különböző környezeti tényezők hatására (pl. magas hőmérséklet, UV-sugárzás, oxigén jelenléte).

A kíméletes tartósítási technológiák minimálisan hatnak az élelmiszerek minőségjellemző tulajdonságaira, hatékonyan megőrizvén azok eredeti friss ízét, illatát, állományát valamint kiindulási tápanyag- és vitamintartalmát, emellett alkalmazásuk során kerülnek a mesterséges adalékanyagok vagy tartósítószerkezetek. Ide tartozik a nagy hidrosztatikus nyomáskezelés (High Hydrostatic Pressure, HHP), melynek kutatási eredményei igen biztatóak. A kíméletes, nem-termikus technológiák közül a nagy hidrosztatikus nyomáskezelés (400-600 MPa, hűtött vagy mérsékelt hőmérsékleten) az egyik legsikeresebben adoptált technológia az élelmiszeriparban, ugyanis az általa nyújtott előnyök kielégítették a fogyasztók egészségtudatos elvárásait és számos innovatív élelmiszeripari termék fejlesztését tették már lehetővé. Jelentős a szerepe a nagy mennyiségű, de sérülékeny egészségmegőrző bioaktív komponenset tartalmazó élelmiszer készítmények tartósításában. Azonban, hogy a biztonságos élelmiszer-előállítás mellett a kezelést követő tárolási időszak alatt is minél inkább megőrizhetőek legyenek a bioaktív komponensek, illetve a termékek frissességére utaló érzékszervi jellemzői, gyakran más kíméletes tartósítási technológiákkal kombináltan történő alkalmazásával kísérleteznek. Egyik ilyen sikeres próbálkozás a HHP kezelés kíméletes hőkezeléssel kombináltan történő alkalmazása, hatékonyabban biztosítva a fentebb említett pozitív jellemzőket a tárolás során is.

Az eddigi kutatásokban a kombinált kezelések és vizsgálatok döntő többségben szimultán történtek, vagyis a nyomáskezelés és a kíméletes hőkezelés kivitelezése egyszerre történt meg a laborberendezés segítségével. Azonban az ilyen kombinált kezelés ipari alkalmazásának megvalósíthatósága jelenleg még nem megoldott, mivel a méretezés és a mechanikai kialakítás

komoly problémákat okoz, az illesztések és tömítések intenzíven amortizálódnak ilyen körülmények között, valamint a kezelőtérben történő inhomogén hőeloszlás és a hőmérséklet megfelelő monitorozásának problémája sem megoldott.

Így dolgozatom elkészítése során célul tűztem ki, hogy megvizsgáljam a HHP kezelés és a kíméletes hőkezelés kombinált alkalmazásának lehetőségét szamócapürék esetében oly módon, hogy a kezelések térben és időben egymástól elkülönítve történő kivitelezése által hogyan és milyen mértékben változnak a szamócapüré érzékszervi, beltartalmi és fiziko-kémiai paraméterei, valamint hogy ezekben a változásokban közrejátszik-e az egyes kezelések kivitelezésének a sorrendje, és ha igen, mely esetekben és milyen mértékben.

Vizsgálataimhoz kereskedelmi forgalomból származó gyorsfagyasztott szamócát használtam fel, melyből a felengedtetést követően pürét állítottam elő. A mintákat vákuumcsomagolást követően 300 és 600 MPa-on 5 percig nyomáskezelttem és/vagy 55 és 75 °C-on 10 percig hőkezelttem. Minden alkalmazott kezelési paraméter esetében készítettem önállóan nyomáskezelt, önállóan hőkezelt, valamint kombináltan különböző sorrendben kezelt mintákat (a jelölések sorrendje egyben jelöli a kezelések sorrendjét is, pl. 55 °C / 300 MPa esetében először történt a hőkezelés majd azt követte a nyomáskezelés). A kutatásom során 14 napos tárolási kísérletet is végeztem 2 ± 2 °C illetve 15 ± 2 °C -on tárolva a mintákat, hogy figyelemmel kísérjem a tárolás során bekövetkező változásokat.

Mikrobiológiai szempontból az önálló és kombinált kezelések egyaránt biztosították a szamócapüré élelmiszerbiztonsági kritériumait a 14 napos tárolás során a választott alacsonyabb (2 °C) és magasabb (15 °C) tárolási hőmérsékleteken is. A magasabb hőmérsékleten (75 °C) végzett önálló és kombinált kezelések is hatékonyabban csökkentették a kiindulási élősejtszámot. Az élesztő- és penészgombák esetében a kezelések következtében az önállóan 55 °C-os, valamint a 300 MPa-kezeléssel kombináltan történő alkalmazásain kívül, minden egyéb kezelésnek köszönhetően a kimutathatósági határ alatt maradt az élesztő- és penészsejtszám a tárolás végéig, Az alacsonyabb szintű kezelések valamivel kevésbé voltak képesek eliminálni a baktériumokat, valamint az élesztő- és penészgombákat.

A szamócapüré minták pH értékének vizsgálata alapján a kombinált kezelések összehasonlítása során az először hőkezelt szamócapürék pH értéke intenzívebb csökkenést mutat, mint az először nyomáskezelt változatoké, legintenzívebben azokban az esetekben ahol 55 °C-on végeztük a hőkezelést. Az adatok fluktuációja alapján a kombinált kezelések elképzelhetően stabilabb pH értéket képesek biztosítani a szamócapüréknek mint az önmagukban végzett kezelések, különösen ha valamelyik magasabb szintű kezelés is (600 MPa vagy 75 °C) alkalmazva volt a kombinált kezelésben. A 14 napos 2 illetve 15 °C-on történő hűtve tárolás nem okozott szignifikáns változásokat a szamócapürék pH értékében.

A számacapürék színezetét illetően a különböző önálló és kombinált kezelések hatására nem történtek számottevő változások, azonban a 14 napos tárolást követően a színkomponensek értékei már szignifikáns változásokat mutattak. Az a^* vörös és b^* sárga színösszetevő esetében csökkentek az értékek, a minták veszítettek a vörös és sárga színintenzitásaikból, míg az L^* színkomponens értékei növekedést mutattak, vagyis a minták színezete világosabb lett. A tárolási hőmérsékletek szerint nem lehet egyértelműen megállapítani, hogy mely esetekben voltak intenzívebbek a változások. A kombinált kezelések majdnem minden esetben kiegyensúlyozottabb értéket képviseltek, mint az önállóan csak nyomás- vagy hőkezelt minták értékei, kevésbé jelentkeztek kiugró értékek, így a kombinált kezeléseknak lehetséges, hogy tulajdonítható egyfajta jótékony hatás, mely által kedvezőbb és stabilabb lehet a kezelés és tárolás soráni színmegőrzés. A kezelések sorrendjét illetően az L^* esetében megfigyelhető, hogy az az először hő- majd nyomáskezelt minták mért eredményei láthatóan szélesebb adattartományban helyezkednek el, mint a fordított sorrendben kezelt mintáké, így az először alkalmazott nyomáskezelés elképzelhetően kedvezőbbnek bizonyulhat ebben az esetben. A színingerkülönbség értékek vizsgálata alapján az azonos szintű, de eltérő sorrendű kezelések páronkénti összehasonlítása szerint szintén az először alkalmazott nyomáskezelés esetében kisebb mértékű változásokat tapasztaltam a színezetben. Ha a kombinált kezelés tartalmazza valamelyik magasabb szintű ($75\text{ }^\circ\text{C}$ vagy 600 MPa) kezelési paramétert akkor stabilabban megőrizhető a számacapürék színezete, mely valószínűleg a hatékonyabb enzim inaktiválásnak és a tárolás soráni kevesebb barna színanyag keletkezésének köszönhető. Emellett az alacsonyabb hőmérsékletű ($2\text{ }^\circ\text{C}$) tárolás során szintén kisebb mértékűek a változások a páronkénti összehasonlítások alapján.

A számacapüre minták bioaktív komponenseinek (antocianin tartalom, polifenol tartalom, antioxidáns kapacitás) vizsgálatainak eredménye arra enged következtetni, hogy a kezeléseknak köszönhetően csak kis mértékben csökkentek az értékek, jelentősebb mértékű szignifikáns csökkenések a 14 napos tárolás következtében történtek. Az önálló nyomás- vagy hőkezelés esetében a csökkenések mértéke valamivel intenzívebb volt mint a kombinált kezelések hatására, így ismét azt tapasztaltam, hogy a kombinált kezelések előnyösebbek a bioaktív komponensek megőrzésében is. A szakirodalmi tanulmányok alapján a polifenol-oxidáz (PPO), peroxidáz (POD) és β -glükózidáz aktivitása felelős az említett, számacapában található bioaktív komponensek lebontásáért. Emellett az alacsonyabb hőmérsékletű ($2\text{ }^\circ\text{C}$) tárolás szintén kedvezőbbnek bizonyult a változások megelőzésében, mint a magasabb ($15\text{ }^\circ\text{C}$) tárolási hőmérséklet. A kombinált kezelések szintjeit és sorrendjét illetőleg egyértelmű következtetéseket nem tudtam levonni.

A 2^n faktoriális kísérletterv eredményi alapján megállapítható, hogy a nyomáskezelés és hőkezelés kombinált alkalmazása során a kezelési szintek növelésével az eredmények nem elsőrendű

kinetika alapján változóak, a középponti beállítások eredményei eltérnek a sarokpontokhoz képest elvárt értékektől.

Az érzékszervi bírálatok különbségpróba eredményei alapján a különböző sorrendű kombinált kezelések (300 MPa / 55 °C – 55 °C / 300 MPa és 600 MPa / 75 °C – 75 °C / 600 MPa) között laikus bírálók esetén matematikailag igazolható szignifikáns érzékszervi különbség nem volt tapasztalható. A 14 napos 15 °C-on történő tárolást követően azonban az alacsony szintű (300 MPa / 55 °C – 55 °C / 300 MPa) kombinált kezelések sorrendjét illetően a bírálók érzékszervi különbséget tapasztaltak, feltételezhetően a kevésbé hatékony enzim inaktivációnak köszönhetően, mivel a magasabb kezelési szinten (600 MPa / 75 °C – 75 °C / 600 MPa) továbbra sem tapasztaltak különbséget a kezelések sorrendjében. Az először nyomáskezelt, majd hőkezelt (300 MPa / 55 °C) mintákat a következőképpen jellemezték: „sűrűbb és édesebb”, „intenzívebb, jellegzetes eper íz”, „erőteljesebb íz”, „sűrűbb, eper íz intenzívebb”, „friss és intenzívebb illat és íz”, „kevesebb utóíz”, „enyhén világosabb”. A jellemzéseket összevetve a korábbi vizsgálati eredményekkel, az először nyomáskezelt mintának (300 MPa / 55 °C) kismértékben magasabb volt az L^* értéke, mely közrejátszhatott, hogy a bírálók világosabbnak érzékelték a mintát.

A kapott következtetésekkel összhangban vannak az illékony komponensek mérési eredményei, miszerint a kezeléseket követően a mért eredmények alapvetően nem különültek el egymástól a diszkriminancia analízis szerint, tehát a kezelések sorrendje, illetve a kezelések szintjei alapvetően nem voltak megkülönböztethetőek. A legjelentősebb különbségeket a tárolás okozta, a 14 napos 15 °C-on történő tárolást követően a csoportok jelentősen elkülönülnek a diszkriminációs térben a tárolás nélküli csoportokhoz képest, illetve a kezelések szintjei alapján is. A 600 MPa / 75 °C-os és 75 °C / 600 MPa csoportok között nem jelenik meg szignifikáns különbség, azonban az alacsonyabb kezelési szinteken a 300 MPa / 55 °C-os mintacsoport elkülönül az 55 °C / 300 MPa mintáktól, vagyis itt már a kezelések sorrendje is szignifikánsan hatással bírtak a számócapürék illékony komponenseire.

A számócapürék reológiájában bekövetkező változásokat elemezve a magasabb kezelési szintek (75 °C / 600 MPa – 600 MPa / 75 °C) esetében a kezeléseket valamint a 14 napos tárolást követően is nagyobb ellenállást mutattak a minták a deformációs erővel szemben, vagyis egy erősebb szerkezetű állomány alakult ki, gélesebb szerkezet jellemezte a mintákat nagyobb látszólagos viszkozitás értékekkel. A folyásgörbék alapján a 15 °C-os tárolás alacsonyabb nyírófeszültség értékeket mutatott, mint a 0. napos vagy 2 °C-on tárolt minták eredményei. Az először hőkezelt minták nyírófeszültsége valamelyest jobban, mint az először nyomáskezelt mintáké, vagyis a minták szerkezete kisebb ellenállást mutatott a deformációs erőhatással szemben. Az állománya ezeknek a mintáknak szemmel láthatóan hígabban folyóssá, lazább szerkezetűvé változott, különösen az alacsonyabb kezelési szinten (55 °C / 300 MPa), melyek korrelálnak az érzékszervi

kiértékelések során a megjegyzésekben feltüntetett eredményekkel. A HHP egyfajta előkezelésként történő alkalmazása így lehetővé teszi a PME által közvetített pektinváltozásokat, mely hasznosnak bizonyulhat a hőkezelés miatti szövetlágyulás ellensúlyozására.

Az MFA kiértékelése alapján arra következtethetünk, hogy a komplex változásokban elsősorban a 14 napos tárolás játszott döntő szerepet, melyhez leginkább a bioaktív és illékony komponensekben bekövetkező változások kötődnek, illetve a színezetbeli a^* és b^* értékekben tapasztalhatunk hasonló irányú változásokat. Ezt követően a leginkább a tárolási hőmérsékletnek tulajdoníthatóak az eredményekben bekövetkező változások, melyek intenzívebbek 15 °C-os tárolás során, mint a 2 °C-on történő tárolás esetén. A változások irányához és mértékéhez nagyjából a szamócapürék reológiájában, valamint színezet szempontjából a minták világossági tényezőjében (L^*) történő változások kötődnek.

SUMMARY

In the field of food preservation, an increasing proportion of alternative food processing technologies are being used to effectively preserve the original freshness and nutritional value of food, with regard to the increasingly health-conscious lifestyle of society. The preservation of strawberry is no exception of this trend.

Strawberries are one of the most popular berries grown worldwide, accounting for 60-65% of all berries. It contains outstanding amounts of beneficial antioxidant compounds such as flavonoids, including anthocyanins (perlargonidine-3-glucoside and cyanidin-3-glucoside), which are antioxidants and protect our body's health from the dangerous free radicals caused by various stress effects, helping our immune system to function properly. Unfortunately, these are very sensitive compounds, they easily lose their stability during processing and storage due to various environmental factors (for instance high temperature, UV radiation, presence of oxygen).

Minimal processing technologies have low effect on the quality properties of foods, efficiently preserving their original fresh taste, aroma, texture and initial nutrient and vitamin content, and avoiding the use of additives or preservatives. These technologies include the High Hydrostatic Pressure (HHP) treatment, of which research results are very promising.

Among other minimal and non-thermal technologies, high hydrostatic pressure treatment (400-600 MPa, chilled or ambient temperature) is one of the most successfully adopted technologies in the food industry, because its benefits have met consumer's health-conscious expectations and have already enabled the development of many innovative food products. It plays a significant role in the preservation of foods containing bioactive components. However, in addition to safe food production, to preserve the organoleptic characteristics of freshness and the bioactive components of the products as much as possible during the storage, attempts are often carried out with the combination with other minimal processing technologies.

One successful attempt is to use HHP treatment in combination with mild heat treatment, more effectively preserving the above mentioned positive features during storage as well.

In the previous studies, the combined treatments and experiments were mostly performed simultaneously, so the pressure treatment and the mild heat treatment were carried out together in the same laboratory equipment. However, the feasibility of industrial application of combined treatment is currently unresolved. This is due to the problem of scale and mechanical design, intensive amortisation of valves and sealings, and the problem of inhomogeneous temperature distribution in the treatment chamber and issue with proper monitoring of temperature.

Accordingly, during my dissertation, I aimed to investigate the possibility of the combined application of HHP treatment and mild heat treatment in the case of strawberry purees in such way

that the treatments are carried out separately in space and time. Goal of this study was to examine how and to what extent the sensory, nutritional, and physicochemical parameters of the strawberry puree change due to the combined treatments, and whether the sequence of the treatments plays a role in it, and if yes, in which sequences to what extent.

For my experiments, I used commercially purchased quick-frozen strawberries, from which I made puree after thawing. After vacuum packaging, the samples were pressure treated at 300 and 600 MPa for 5 minutes and/or heat treated at 55 and 75 °C for 10 minutes. For each applied treatment parameter, I prepared single pressure-treated samples, single heat-treated samples, and samples with combined treatments in different sequences (the order of the sample's mark also indicates the order of the treatments, for instance: in the case of 55 °C / 300 MPa the heat treatment was performed first and then the pressure treatment). In my research, I also performed a 14-day long storage experiment by storing the samples at 2 ± 2 °C and 15 ± 2 °C, respectively to monitor changes during storage.

From a microbiological point of view, both single and combined treatments ensured the food safety criteria and quality of the strawberry puree during 14 days of storage at both lower (2 °C) and higher (15 °C) storage temperatures. Both single and combined treatments at higher temperatures (75 °C) were more effective in reducing the initial colony forming unit (CFU) number of microorganisms. The yeast and molds counts (YMC) remained below the detection limit until the end of storage for all samples, except for the 55 °C single heat treatment, which indicates that the lower-level treatments were slightly less able to eliminate bacteria and yeast and molds.

Based on the examination of the pH of strawberry puree samples, the pH of the firstly mild heat-treated strawberry purees shows a more intense decrease than the firstly pressure-treated variants. The change is most intense in the cases where the mild heat treatments were performed at 55 °C. Based on the fluctuation of the data, it seems that the combined treatments are able to provide a more stable pH to the strawberry puree than the single treatments, especially if one of the higher-level treatments (600 MPa or 75 °C) was used in the combined treatment. Storage for 14 days at 2 and 15 °C refrigerated temperature did not cause significant changes in the pH values of the strawberry puree.

There were no significant changes in the colour of the strawberry puree due to the different single and combined treatments, however, after 14 days of storage, the values of the colour components already showed significant changes. The values of the a* red and b* yellow colour components decreased, and the samples lost from their red and yellow colour intensities. The values of the L* colour component showed an increase, so the colour of the samples became lighter. According to

the storage temperatures, it is not possible to clearly identify in which cases the changes were more intense. In almost all cases, the combined treatments represented more stable values than single pressure- or heat-treated samples, and there were fewer outliers, thus it is possible that combined treatments may be attributed a kind of beneficial effect, which may make the colour retention after treatment and storage more favourable and stable. Regarding the sequence of treatments, it can be observed in the case of L^* results of the first heat-treated and then pressure-treated samples appear to be in a wider data range than results of those samples treated in the reversed order. Therefore, the firstly applied pressure treatment can be beneficial in this case.

Based on the examination of the colour difference values, according to the pairwise comparison of the same level treatments but in a different order, I also experienced smaller changes in the colour in the cases where pressure treatment was firstly applied. If the combined treatment contains one of the higher level of treatments (75 °C or 600 MPa), the colour of the strawberry puree can be better preserved, which is probably due to the more efficient enzyme inactivation and the formation of fewer brown colour compounds during storage. In addition, changes at lower temperatures (2 °C) are also less intensive based on pairwise comparisons.

The results of the bioactive components (anthocyanin content, polyphenol content, antioxidant capacity) of the strawberry puree samples suggest that the values decreased only slightly due to the treatments, significant decreases occurred due to the 14-day storage. In cases of the single pressure or heat treatments, the extent of the degradations was more intense than in case of the combined treatments. Based on these findings the combined treatments are more advantageous in preserving the bioactive components. Based on other studies, the activity of polyphenol oxidase (PPO), peroxidase (POD) and β -glucosidase is responsible for the degradation of these bioactive components in strawberries. In addition, storage at a lower temperature (2 °C) was also found to be more positive in preventing changes than higher storage temperature (15 °C). No clear conclusions could be established regarding the levels and sequences of combined treatments.

Based on the results of the 2ⁿ factorial experimental design, it can be stated that during the combined usage of pressure and heat treatment, the results do not vary based on first-order kinetics, particularly the results of the centre points differ from the expected values.

Based on the results of the sensory evaluation test between the combined treatments with different sequences (300 MPa / 55 °C – 55 °C / 300 MPa and 600 MPa / 75 °C – 75 °C / 600 MPa) no mathematically verifiable significant sensory differences were observed. However, after 14 days of storage at 15 °C, sensory difference was found by the panellists in case of the low-level (300 MPa / 55 °C - 55 °C / 300 MPa) combined treatments in different sequence, presumably due to less efficient enzyme inactivation, whereas at the higher-level treatments (600 MPa / 75 °C - 75

°C / 600 MPa) there was still no difference in the sequence of treatments. Samples first pressure treated and then heat treated (300 MPa / 55 °C) were characterized as follows: "denser and sweeter", "more intense strawberry flavour", "stronger flavour", "fresh and more intense aroma and taste", "less aftertaste", "slightly brighter colour". Comparing the characteristics with the previous test results, the first pressure-treated sample (300 MPa / 55 °C) had a slightly higher L* value, which may have contributed to the reviewers perceiving the sample as brighter.

The measurement results of the volatile components are in line with the obtained conclusions, according to which the measured results after the treatments were basically not separated by the discriminant analysis, so the order of the treatments and the levels of the treatments were basically indistinguishable. Significant differences were observed after 14 days of storage at 15 °C, the groups were significantly separated in the discriminatory space compared to the groups without storage and also based on treatment levels. There is no significant difference between the 600 MPa / 75 °C and 75 °C / 600 MPa groups, however, at lower treatment levels, the 300 MPa / 55 °C sample group differs from the 55 °C / 300 MPa samples, so here the sequence of treatments had a significant effect on the volatile components of strawberry puree.

Analysing the changes in the rheology of strawberry puree at higher treatment levels (75 °C / 600 MPa - 600 MPa / 75 °C), the samples showed higher resistance against the deformation force after the treatments and even after 14 days of storage, which means a stronger structure formed, more gel-like structure characterized the samples with higher apparent viscosity values. Based on the flow curves, storage at 15 °C showed lower shear stress values than the results of samples at day 0 or stored at 2 °C. The shear stress of the first heat-treated samples was also lower than the first pressure-treated samples, the structure of the samples showed less resistance against the deformation force. The texture of these samples visibly became more dilute, more loose in structure, especially at the lower treatment level (55 °C / 300 MPa), which correlate with the results reported in the sensory evaluations. The use of HHP as kind of a pre-treatment thus allows PME-mediated pectin changes, which may prove useful to counteract tissue softening due to heat treatment. Based on the evaluation of MFA, we can conclude that 14-day storage played a crucial role in the complex changes, to which the bioactive and volatile components changes are most closely related, and we can observe also observe similar directions in the changes of a* and b* colour components. Thereafter, the changes in the results are mostly attributable to the storage temperature, which are more intense in case of 15 °C storage than 2 °C. The directions and extent of these changes are mostly attributed to changes in the rheology of strawberry puree and also related to the L* colour parameter changes.

8. MELLÉKLETEK

M1. Irodalomjegyzék

- Aaby, K., Grimsbo, I.H., Hovda, M.B., Rode, T.M., 2018. Effect of high pressure and thermal processing on shelf life and quality of strawberry purée and juice. *Food Chemistry* 260, 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.100>
- Aaby, K., Wrolstad, R.E., Ekeberg, D., Skrede, G., 2007. Polyphenol Composition and Antioxidant Activity in Strawberry Purees; Impact of Achene Level and Storage. *J. Agric. Food Chem.* 55, 5156–5166. <https://doi.org/10.1021/jf070467u>
- Abdi, H., 2003. Multivariate analysis. *Encyclopedia for research methods for the social sciences*. Thousand Oaks: Sage 699–702.
- Alvarez-Suarez, J.M., Giampieri, F., Tulipani, S., Casoli, T., Di Stefano, G., González-Paramás, A.M., Santos-Buelga, C., Busco, F., Quiles, J.L., Cordero, M.D., Bompadre, S., Mezzetti, B., Battino, M., 2014. One-month strawberry-rich anthocyanin supplementation ameliorates cardiovascular risk, oxidative stress markers and platelet activation in humans. *The Journal of Nutritional Biochemistry* 25, 289–294. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2013.11.002>
- Andersen, Ø.M., Markham, K.R. (Eds.), 2006. *Flavonoids: chemistry, biochemistry, and applications - The Anthocyanins*. CRC, Taylor & Francis, Boca Raton, FL. 1237p. ISBN: 978-0-8493-2021-7
- Babicz, Sz., 2002. Minőségi számcatermesztés gazdaságosan. AGROFELD, Nyíregyháza. 168p, ISBN: 978-963-00-9743-7
- Bala, B., Farkas, D., Turek, E.J., 2008. Preserving foods through high-pressure processing. *Food Technology* 11, 32–38.
- Balasubramaniam, V.M. (Bala), Martínez-Monteagudo, S.I., Gupta, R., 2015. Principles and Application of High Pressure–Based Technologies in the Food Industry. *Annual Review of Food Science and Technology* 6, 435–462. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-022814-015539>
- Balasubramaniam, V.M., Barbosa-Cánovas, G.V., Lelieveld, H.L.M. (Eds.), 2016. *High Pressure Processing of Food: Principles, Technology and Applications*, Food Engineering Series. Springer New York, New York, NY. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3234-4>
- Balasubramaniam, V.M., Farkas, D., Turek, E., 2008. Preserving Foods through High-Pressure Processing. *Food Technology* 62.
- Barba, F.J., Criado, M.N., Belda-Galbis, C.M., Esteve, M.J., Rodrigo, D., 2014. Stevia rebaudiana Bertoni as a natural antioxidant/antimicrobial for high pressure processed fruit extract: Processing parameter optimization. *Food Chemistry* 148, 261–267. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.048>
- Barba, F.J., Esteve, M.J., Frigola, A., 2013. Physicochemical and nutritional characteristics of blueberry juice after high pressure processing. *Food Research International, Stability of phytochemicals during processing* 50, 545–549. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.038>
- Barba, Francisco J., Esteve, M.J., Frigola, A., 2012a. High Pressure Treatment Effect on Physicochemical and Nutritional Properties of Fluid Foods During Storage: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 11, 307–322. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2012.00185.x>
- Barba, F.J., Jäger, H., Meneses, N., Esteve, M.J., Frigola, A., Knorr, D., 2012b. Evaluation of quality changes of blueberry juice during refrigerated storage after high-pressure and pulsed electric fields processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 14, 18–24. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2011.12.004>
- Barba, F.J., Terefe, N.S., Buckow, R., Knorr, D., Orlie, V., 2015. New opportunities and perspectives of high pressure treatment to improve health and safety attributes of foods. A review. *Food*

- Research International, Innovative food processing technologies: chemical, nutritional and microbiological aspects 77, 725–742. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.05.015>
- Basu, A., Nguyen, A., Betts, N.M., Lyons, T.J., 2014. Strawberry as a Functional Food: An Evidence-Based Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 54, 790–806. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.608174>
- Benzie, I.F.F., Strain, J.J., 1996. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry* 239, 70–76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
- Bialasiewicz, P., Prymont-Przyminska, A., Zwolinska, A., Sarniak, A., Włodarczyk, A., Krol, M., Glusac, J., Nowak, P., Markowski, J., Rutkowski, K.P., Nowak, D., 2014. Addition of Strawberries to the Usual Diet Decreases Resting Chemiluminescence of Fasting Blood in Healthy Subjects—Possible Health-Promoting Effect of These Fruits Consumption. *Journal of the American College of Nutrition* 33, 274–287. <https://doi.org/10.1080/07315724.2013.870502>
- Bielefeld University: Faculty of Technology, n.d. URL: <https://www.uni-bielefeld.de/technische-fakultaet/> (accessed 2.8.21).
- Bodelón, O.G., Avizcuri, J.-M., Fernández-Zurbano, P., Dizy, M., Préstamo, G., 2013. Pressurization and cold storage of strawberry purée: Colour, anthocyanins, ascorbic acid and pectin methylesterase. *LWT - Food Science and Technology, Strawberries* 52, 123–130. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.08.025>
- Borosy, A.P., Horvai, Gy., 2001. Sokváltozós adatelemzés (kemometria). Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest. 71-106, ISBN: 978-963-19-2114-4
- Buckow, R., Kastell, A., Terefe, N.S., Versteeg, C., 2010. Pressure and temperature effects on degradation kinetics and storage stability of total anthocyanins in blueberry juice. *J Agric Food Chem* 58, 10076–10084. <https://doi.org/10.1021/jf1015347>
- Butz, P., Tauscher, B., 2000. Recent studies on pressure-induced chemical changes in food constituents. *High Pressure Research* 19, 11–18. <https://doi.org/10.1080/08957950008202529>
- Cano, M.P., Hernandez, A., Ancos, B., 1997. High Pressure and Temperature Effects on Enzyme Inactivation in Strawberry and Orange Products. *J Food Science* 62, 85–88. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1997.tb04373.x>
- Cao, X., Bi, X., Huang, W., Wu, J., Hu, X., Liao, X., 2012. Changes of quality of high hydrostatic pressure processed cloudy and clear strawberry juices during storage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 16, 181–190. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.05.008>
- Cao, X., Liu, F., Wu, J., Liao, X., Hu, X. 2014. Effects of high hydrostatic pressure combined with blanching on microorganisms and quality attributes of cloudy and clear strawberry juices. *International Journal of Food Properties*, 17(9), 1900-1920. <https://doi.org/10.1080/10942912.2013.766887>
- Cao, X., Zhang, Y., Zhang, F., Wang, Y., Yi, J., Liao, X., 2011. Effects of high hydrostatic pressure on enzymes, phenolic compounds, anthocyanins, polymeric color and color of strawberry pulps: Effects of high hydrostatic pressure on strawberry pulps. *J. Sci. Food Agric.* 91, 877–885. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4260>
- Cassidy, A., O’Reilly, É.J., Kay, C., Sampson, L., Franz, M., Forman, J.P., Curhan, G., Rimm, E.B., 2011. Habitual intake of flavonoid subclasses and incident hypertension in adults. *Am J Clin Nutr* 93, 338–347. <https://doi.org/10.3945/ajcn.110.006783>
- Chacraborty, S., Kaushik, N., Rao, P.S., Mishra, H.N., 2014. High-Pressure Inactivation of Enzymes: A Review on Its Recent Applications on Fruit Purees and Juices. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 13, 578–596. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12071>
- Chen, T., Yan, F., Qian, J., Guo, M., Zhang, H., Tang, X., Chen, F., Stoner, G.D., Wang, X., 2012. Randomized phase II trial of lyophilized strawberries in patients with dysplastic precancerous lesions of the esophagus. *Cancer Prev Res (Phila)* 5, 41–50. <https://doi.org/10.1158/1940-6207.CAPR-11-0469>

- Chen, Z.Y., Chan, P.T., Ho, K.Y., Fung, K.P., Wang, J., 1996. Antioxidant activity of natural flavonoids is governed by number and location of their aromatic hydroxyl groups. *Chemistry and Physics of Lipids* 79, 157–163. [https://doi.org/10.1016/0009-3084\(96\)02523-6](https://doi.org/10.1016/0009-3084(96)02523-6)
- Chisari, M., Barbagallo, R.N., Spagna, G., 2007. Characterization of Polyphenol Oxidase and Peroxidase and Influence on Browning of Cold Stored Strawberry Fruit. *J. Agric. Food Chem.* 55, 3469–3476. <https://doi.org/10.1021/jf063402k>
- Clifford, M.N., 2000. Anthocyanins – nature, occurrence and dietary burden. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80, 1063–1072. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(20000515\)80:7<1063::AID-JSFA605>3.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(20000515)80:7<1063::AID-JSFA605>3.0.CO;2-Q)
- Considine, K.M., Kelly, A.L., Fitzgerald, G.F., Hill, C., Sleator, R.D., 2008. High-pressure processing – effects on microbial food safety and food quality: High-pressure processing. *FEMS Microbiology Letters* 281, 1–9. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2008.01084.x>
- Contador, R., González-Cebrino, F., García-Parra, J., Lozano, M., Ramírez, R., 2014. Effect of Hydrostatic High Pressure and Thermal Treatments on Two Types of Pumpkin Purée and Changes during Refrigerated Storage. *Journal of Food Processing and Preservation* 38, 704–712. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12021>
- Corrales, Margarita, Butz, P., Tauscher, B., 2008a. Anthocyanin condensation reactions under high hydrostatic pressure. *Food Chemistry* 110, 627–635. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.055>
- Corrales, M., Toepfl, S., Butz, P., Knorr, D., Tauscher, B., 2008b. Extraction of anthocyanins from grape by-products assisted by ultrasonics, high hydrostatic pressure or pulsed electric fields: A comparison. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 9, 85–91. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.06.002>
- Costa, L.B., Rangel, D.E.N., Morandi, M.A.B., Bettiol, W., 2013. Effects of UV-B radiation on the antagonistic ability of *Clonostachys rosea* to *Botrytis cinerea* on strawberry leaves. *Biological Control* 65, 95–100. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.12.007>
- Crawford, Y.J., Murano, E.A., Olson, D.G., Shenoy, K., 1996. Use of High Hydrostatic Pressure and Irradiation To Eliminate *Clostridium sporogenes* Spores in Chicken Breast. *Journal of Food Protection* 59, 711–715. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-59.7.711>
- Cserhalmi, Zs., Sass-Kiss, Á., Tóth-Markus, M., Lechner, N., 2006. Study of pulsed electric field treated citrus juices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 7, 49–54. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2005.07.001>
- Da Silva, F.L., Escribano-Bailón, M.T., Pérez Alonso, J.J., Rivas-Gonzalo, J.C., Santos-Buelga, C., 2007. Anthocyanin pigments in strawberry. *LWT - Food Science and Technology* 40, 374–382. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.09.018>
- Dalmadi, I., 2009. Hőkezeléssel és nagy hidrosztatikus nyomással pasztórozott bogyógyümölcs-pürék minőségjellemzőinek alakulása a tárolási hőmérséklet függvényében, in: PhD disszertáció. Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest, p. 139.
- Dalmadi, I., Polyák-Fehér, K., Farkas, J., 2007. Effects of pressure- and thermal-pasteurization on volatiles of some berry fruits. *High Pressure Research* 27, 169–171. <https://doi.org/10.1080/08957950601088893>
- Daoudi, L., Quevedo, J.M., Trujillo, A.J., Capdevila, F., Bartra, E., Mínguez, S., Guamis, B., 2002. Effects of High-Pressure Treatment on the Sensory Quality of White Grape Juice. *High Pressure Research* 22, 705–709. <https://doi.org/10.1080/08957950212430>
- Daryaei, H., Balasubramaniam, V.M., 2012. Microbial decontamination of food by high pressure processing, in: *Microbial Decontamination in the Food Industry*. Elsevier, pp. 370–406. <https://doi.org/10.1533/9780857095756.2.370>
- De Roeck, A., Duvetter, T., Fraeye, I., Plancken, I.V. der, Sila, D.N., Loey, A.V., Hendrickx, M., 2009. Effect of high-pressure/high-temperature processing on chemical pectin conversions in relation to fruit and vegetable texture. *Food Chemistry* 115, 207–213. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.016>

- Dede, S., Alpas, H., Bayındırlı, A., 2007. High hydrostatic pressure treatment and storage of carrot and tomato juices: Antioxidant activity and microbial safety. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87, 773–782. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2758>
- Dörnenburg, H., Knorr, D., 1993. Cellular permeabilization of cultured plant tissues by high electric field pulses or ultra high pressure for the recovery of secondary metabolites. *Food Biotechnology* 7, 35–48. <https://doi.org/10.1080/08905439309549844>
- Earnshaw, R., 1995. *High Pressure Processing of Foods*. Nottingham University Press, Nottingham. 37p
- Edirisinghe, I., Banaszewski, K., Cappozzo, J., Sandhya, K., Ellis, C.L., Tadapaneni, R., Kappagoda, C.T., Burton-Freeman, B.M., 2011. Strawberry anthocyanin and its association with postprandial inflammation and insulin. *Br J Nutr* 106, 913–922. <https://doi.org/10.1017/S0007114511001176>
- Elamin, W.M., Endan, J.B., Yosuf, Y.A., Shamsudin, R., Ahmedov, A., 2015. High Pressure Processing Technology and Equipment Evolution: A Review. *Journal of Engineering Science and Technology Review* 8, 75–83.
- Escofier, B., Pagès, J., 1994. Multiple factor analysis (AFMULT package). *Computational Statistics & Data Analysis* 18, 121–140. [https://doi.org/10.1016/0167-9473\(94\)90135-X](https://doi.org/10.1016/0167-9473(94)90135-X)
- Evelyn, null, Silva, F.V.M., 2015. Inactivation of *Byssoschlamys nivea* ascospores in strawberry puree by high pressure, power ultrasound and thermal processing. *Int J Food Microbiol* 214, 129–136. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.07.031>
- Evelyn, Kim, H.J., Silva, F.V.M., 2016. Modeling the inactivation of *Neosartorya fischeri* ascospores in apple juice by high pressure, power ultrasound and thermal processing. *Food Control* 59, 530–537. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.06.033>
- FAOSTAT, 2018. Faostat. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (accessed 2.3.21).
- Farkas, D.F., 2016. A Short History of Research and Development Efforts Leading to the Commercialization of High-Pressure Processing of Food, in: Balasubramaniam, V.M., Barbosa-Cánovas, G.V., Lelieveld, H.L.M. (Eds.), *High Pressure Processing of Food*, Food Engineering Series. Springer New York, New York, NY, pp. 19–36. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3234-4_2
- Fernández García, A., Butz, P., Bognàr, A., Tauscher, B., 2001. Antioxidative capacity, nutrient content and sensory quality of orange juice and an orange-lemon-carrot juice product after high pressure treatment and storage in different packaging. *Eur Food Res Technol* 213, 290–296. <https://doi.org/10.1007/s002170100332>
- Ferrari, G., Maresca, P., Ciccarone, R., 2010. The application of high hydrostatic pressure for the stabilization of functional foods: Pomegranate juice. *Journal of Food Engineering* 100, 245–253. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.04.006>
- Figura, L.O., Teixeira, A.A., 2007. *Food physics: physical properties--measurement and applications*. Springer, Berlin; New York. 550p. ISBN: 978-3-540-34191-8.
- Fraeye, I., Knockaert, G., Van Buggenhout, S., Duvetter, T., Hendrickx, M., Van Loey, A., 2010. Enzyme infusion prior to thermal/high pressure processing of strawberries: Mechanistic insight into firmness evolution. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 11, 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.06.007>
- Fujita, S., Saari, N. bin, Maegawa, M., Tetsuka, T., Hayashi, N., Tono, T., 1995. Purification and Properties of Polyphenol Oxidase from Cabbage (*Brassica oleracea* L.). *J. Agric. Food Chem.* 43, 1138–1142. <https://doi.org/10.1021/jf00053a005>
- Gao, G., Ren, P., Cao, X., Yan, B., Liao, X., Sun, Z., Wang, Y., 2016. Comparing quality changes of cupped strawberry treated by high hydrostatic pressure and thermal processing during storage. *Food and Bioprocess Processing* 100, 221–229. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.06.017>
- Garcia-Palazon, A., Suthanthangjai, W., Kajda, P., Zabetakis, I., 2004. The effects of high hydrostatic pressure on β -glucosidase, peroxidase and polyphenoloxidase in red raspberry (*Rubus idaeus*) and strawberry (*Fragaria×ananassa*). *Food Chemistry* 88, 7–10. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.01.019>

- García-Parra, J., González-Cebrino, F., Cava, R., Ramírez, R., 2014. Effect of a different high pressure thermal processing compared to a traditional thermal treatment on a red flesh and peel plum purée. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 26, 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.08.002>
- García-Parra, J., González-Cebrino, F., Delgado-Adámez, J., Cava, R., Martín-Belloso, O., Elez-Martínez, P., Ramírez, R., 2018. Application of innovative technologies, moderate-intensity pulsed electric fields and high-pressure thermal treatment, to preserve and/or improve the bioactive compounds content of pumpkin. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 45, 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.09.022>
- García-Parra, J., Ramírez, R., 2019. New Preservations Technologies: Hydrostatic High Pressure Processing and High Pressure Thermal Processing, in: Ferranti, P., Berry, E.M., Anderson, J.R. (Eds.), *Encyclopedia of Food Security and Sustainability*. Elsevier, Oxford, pp. 473–480. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22428-1>
- Georget, E., Sevenich, R., Reineke, K., Mathys, A., Heinz, V., Callanan, M., Rauh, C., Knorr, D., 2015. Inactivation of microorganisms by high isostatic pressure processing in complex matrices: A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 27, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.10.015>
- Giampieri, F., Tulipani, S., Alvarez-Suarez, J.M., Quiles, J.L., Mezzetti, B., Battino, M., 2012. The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health. *Nutrition* 28, 9–19. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2011.08.009>
- Giusti, M.M., Wrolstad, R.E., 2001. Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry* 00, F1.2.1-F1.2.13. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00>
- Goiffon, J.-P., Mouly, P.P., Gaydou, E.M., 1999. Anthocyanic pigment determination in red fruit juices, concentrated juices and syrups using liquid chromatography. *Analytica Chimica Acta* 382, 39–50. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(98\)00756-9](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(98)00756-9)
- Golan-Goldhirsh, A., Whitaker, J.R., Kahn, V., 1984. Relation between structure of polyphenol oxidase and prevention of browning. *Adv Exp Med Biol* 177, 437–456. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-4790-3_21
- Gómez, B., Munekata, P.E.S., Barba, F.J., Pinto, C.A., Saraiva, J.A., Lorenzo, J.M., 2021. Influence of High-Pressure Processing on the Nutritional Changes of Treated Foods, in: Knoerzer, K., Muthukumarappan, K. (Eds.), *Innovative Food Processing Technologies*. Elsevier, Oxford, pp. 74–86. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22928-4>
- Gong, Z., Li, D., Liu, C., Cheng, A., Wang, W., 2015. Partial purification and characterization of polyphenol oxidase and peroxidase from chestnut kernel. *LWT - Food Science and Technology* 60, 1095–1099. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.012>
- González-Cebrino, F., Durán, R., Delgado-Adámez, J., Contador, R., Ramírez, R., 2013. Changes after high-pressure processing on physicochemical parameters, bioactive compounds, and polyphenol oxidase activity of red flesh and peel plum purée. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 20, 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.07.008>
- Guo, C., Yang, J., Wei, J., Li, Y., Xu, J., Jiang, Y., 2003. Antioxidant activities of peel, pulp and seed fractions of common fruits as determined by FRAP assay. *Nutrition Research* 23, 1719–1726. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2003.08.005>
- Gupta, R., Balasubramaniam, V.M., Schwartz, S.J., Francis, D.M., 2010. Storage Stability of Lycopene in Tomato Juice Subjected to Combined Pressure–Heat Treatments. *J. Agric. Food Chem.* 58, 8305–8313. <https://doi.org/10.1021/jf101180c>
- Halász né, M., 1988. Műszeres színmérés az élelmiszeranalitikában - Műszeres Analízis, 110-132p
- Halvorsen, B.L., Carlsen, M.H., Phillips, K.M., Bøhn, S.K., Holte, K., Jacobs, D.R., Blomhoff, R., 2006. Content of redox-active compounds (ie, antioxidants) in foods consumed in the United States. *Am J Clin Nutr* 84, 95–135. <https://doi.org/10.1093/ajcn/84.1.95>

- Hashmi, M.S., East, A.R., Palmer, J.S., Heyes, J.A., 2013. Pre-storage hypobaric treatments delay fungal decay of strawberries. *Postharvest Biology and Technology* 77, 75–79. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.11.008>
- Heinonen, M., Meyer, A.M.B.S., Frankel, E.N., 1998. Antioxidant activity of berry phenolics on human low-density lipoprotein and liposome oxidation. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 46, 4107–4112.
- Hendrickx, M., Ludikhuyze, L., Van den Broeck, I., Weemaes, C., 1998. Effects of high pressure on enzymes related to food quality. *Trends in Food Science & Technology* 9, 197–203. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(98\)00039-9](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(98)00039-9)
- High Pressure Processing Equipment Market, 2016. High Pressure Processing Equipment Market by Orientation Type (Horizontal and Vertical), Vessel Volume, Application (Fruits & Vegetables, Meat, Juice & Beverages, Seafood), End User Category, and Region - Global Forecast to 2022. <https://www.marketsandmarkets.com/>.
- Hiperbaric, 2020a. HPP 2020 trends. Hiperbaric Blog. URL: <http://blog.hiperbaric.com/en/hpp-2020-trends> (accessed 4.19.21).
- Hiperbaric, 2020b. Hiperbaric installs its 300th HPP machine at Calavo Growers. Hiperbaric Blog. URL: <http://blog.hiperbaric.com/en/hiperbaric-installs-its-300th-hpp-machine-at-calavo-growers> (accessed 2.4.21).
- Hiperbaric, 2019a. Global Trends in High Pressure Processing (HPP) for 2019. Hiperbaric Blog. URL: <https://blog.hiperbaric.com/en/global-trends-in-hpp-for-2019> (accessed 1.27.21).
- Hiperbaric, 2019b. HPP combined with other food processing techniques. Hiperbaric Blog. URL: <http://blog.hiperbaric.com/en/hpp-combined-food-processing-techniques> (accessed 5.7.21).
- Hiperbaric, 2018. Hiperbaric In-pack High Pressure Processing Equipment. Hiperbaric Blog. URL: <https://blog.hiperbaric.com/en/hiperbaric-in-pack-high-pressure-processing> (accessed 2.3.21).
- Hite, B.H., 1899. The effect of pressure in the preservation of milk: a preliminary report. West Virginia University Agricultural Experiment Station. <https://doi.org/10.33915/agnic.58>
- Holzwarth, M., Korhummel, S., Kammerer, D.R., Carle, R., 2012. Thermal inactivation of strawberry polyphenoloxidase and its impact on anthocyanin and color retention in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) purées. *Eur Food Res Technol* 235, 1171–1180. <https://doi.org/10.1007/s00217-012-1852-2>
- Howard, L.R., Brownmiller, C., Prior, R.L., 2014. Improved color and anthocyanin retention in strawberry puree by oxygen exclusion. *JBR* 4, 107–116. <https://doi.org/10.3233/JBR-140072>
- Howard, L.R., Prior, R.L., Liyanage, R., Lay, J.O., 2012. Processing and Storage Effect on Berry Polyphenols: Challenges and Implications for Bioactive Properties. *J. Agric. Food Chem.* 60, 6678–6693. <https://doi.org/10.1021/jf2046575>
- Hsu, H., Sheen, S., Sites, J., Huang, L., Wu, J.S.-B., 2014. Effect of high pressure treatment on the survival of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* in strawberry puree. *Food Microbiology* 40, 25–30. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.11.019>
- Hsu, K.-C., Tan, F.-J., Chi, H.-Y., 2008a. Evaluation of microbial inactivation and physicochemical properties of pressurized tomato juice during refrigerated storage. *LWT - Food Science and Technology* 41, 367–375. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.03.030>
- Huang, H.-W., Hsu, C.-P., Wang, C.-Y., 2020. Healthy expectations of high hydrostatic pressure treatment in food processing industry. *Journal of Food and Drug Analysis* 28, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2019.10.002>
- Huang, H.-W., Wu, S.-J., Lu, J.-K., Shyu, Y.-T., Wang, C.-Y., 2017. Current status and future trends of high-pressure processing in food industry. *Food Control* 72, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.07.019>
- Huang, R., Li, X., Huang, Y., Chen, H., 2014. Strategies to enhance high pressure inactivation of murine norovirus in strawberry puree and on strawberries. *International Journal of Food Microbiology* 185, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.05.007>
- Huang, Y., Ye, M., Chen, H., 2013. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* spp. in strawberry puree by high hydrostatic pressure with/without subsequent frozen storage.

- International Journal of Food Microbiology 160, 337–343.
<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.11.008>
- Hurtado, A., Guàrdia, M.D., Picouet, P., Jofré, A., Ros, J.M., Bañón, S., 2017. Stabilization of red fruit-based smoothies by high-pressure processing. Part A. Effects on microbial growth, enzyme activity, antioxidant capacity and physical stability. *J Sci Food Agric* 97, 770–776.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.7796>
- Ilhan, K., Karabulut, O.A., 2013. Efficacy and population monitoring of bacterial antagonists for gray mold (*Botrytis cinerea* Pers. ex. Fr.) infecting strawberries. *BioControl* 58, 457–470.
<https://doi.org/10.1007/s10526-012-9503-x>
- ISO 4120:2004, n.d. ISO. URL:
<https://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/03/34/33495.html>
 (accessed 4.23.21).
- Jensen, B., Knudsen, I.M.B., Andersen, B., Nielsen, K.F., Thrane, U., Jensen, D.F., Larsen, J., 2013. Characterization of microbial communities and fungal metabolites on field grown strawberries from organic and conventional production. *International Journal of Food Microbiology* 160, 313–322. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.11.005>
- Jung, S., 2016. Applications and Opportunities for Pressure-Assisted Extraction, in: Balasubramaniam, V.M., Barbosa-Cánovas, G.V., Lelieveld, H.L.M. (Eds.), *High Pressure Processing of Food*, Food Engineering Series. Springer New York, New York, NY, pp. 173–191.
https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3234-4_10
- Kamei, H., Kojima, T., Hasegawa, M., Koide, T., Umeda, T., Yukawa, T., Terabe, K., 1995. Suppression of Tumor Cell Growth by Anthocyanins In Vitro. *Cancer Investigation* 13, 590–594.
<https://doi.org/10.3109/07357909509024927>
- Kenesei, Gy., 2018. Kíméletes hőkezelés és nagy hidrosztatikus nyomáskezelés kombinálásának hatása sertéshús egyes minőségi jellemzőire in: PhD disszertáció. Szent István Egyetem, Budapest, p. 125.
- Klopotek, Y., Otto, K., Böhm, V., 2005. Processing strawberries to different products alters contents of vitamin C, total phenolics, total anthocyanins, and antioxidant capacity. *J Agric Food Chem* 53, 5640–5646. <https://doi.org/10.1021/jf047947v>
- Knorr, D., 1999. Process assessment of high pressure processing of foods: an overview., in: *Processing Foods: Quality Optimisation and Process Assessment*. CRC Press, pp. 249–267.
- Koncz, K., Pásztor-Huszár, K., Dalmadi, I., 2007. Nagy hidrosztatikus nyomás élelmiszer-ipari alkalmazása, in: *Élelmiszer-Biztonság És-Minőség II*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, pp. 124–132.
- Krimm, U., Abanda-Nkpwatt, D., Schwab, W., Schreiber, L., 2005. Epiphytic microorganisms on strawberry plants (*Fragaria ananassa* cv. Elsanta): identification of bacterial isolates and analysis of their interaction with leaf surfaces. *FEMS Microbiology Ecology* 53, 483–492.
<https://doi.org/10.1016/j.femsec.2005.02.004>
- Kuzma M., Lóránd T., Rozmer Z., Perjési P., 2014. Gyógyszerészi Kémia II. gyakorlati praktikum. URL: https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011-0016_16_gyogyszereszi_kemia_2_gyakorlati_praktikum/index.html (accessed 4.27.21).
- Lafarga, T., Colás-Medà, P., Abadías, M., Aguiló-Aguayo, I., Bobo, G., Viñas, I., 2019. Strategies to reduce microbial risk and improve quality of fresh and processed strawberries: A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 52, 197–212.
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.12.012>
- Lambert, Y., Demazeau, G., Largeteau, A., Bouvier, J.-M., 1999. Changes in aromatic volatile composition of strawberry after high pressure treatment. *Food Chemistry* 67, 7–16.
[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00084-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00084-9)
- László, P., 2003. *Élelmiszerfizika* I. 165p.
- Lechowich, R.V., 1993. Food safety implications of high hydrostatic pressure as a food processing method. *Food Technology* 47, 170–172.
- Leistner, L., 1992. Food preservation by combined methods. *Food Research International* 25, 151–158.
[https://doi.org/10.1016/0963-9969\(92\)90158-2](https://doi.org/10.1016/0963-9969(92)90158-2)

- Leroch, M., Plesken, C., Weber, R.W.S., Kauff, F., Scalliet, G., Hahn, M., 2013. Gray Mold Populations in German Strawberry Fields Are Resistant to Multiple Fungicides and Dominated by a Novel Clade Closely Related to *Botrytis cinerea*. *Appl. Environ. Microbiol.* 79, 159–167. <https://doi.org/10.1128/AEM.02655-12>
- Li, D., Wang, P., Luo, Y., Zhao, M., Chen, F., 2017. Health benefits of anthocyanins and molecular mechanisms: Update from recent decade. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 57, 1729–1741. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1030064>
- Lima Tribst, A.A., de Souza Sant'Ana, A., de Massaguer, P.R., 2009. Review: Microbiological quality and safety of fruit juices—past, present and future perspectives. *Critical Reviews in Microbiology* 35, 310–339. <https://doi.org/10.3109/10408410903241428>
- Linton, M., McClements, J.M.J., Patterson, M.F., 1999. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 in Orange Juice Using a Combination of High Pressure and Mild Heat. *Journal of Food Protection* 62, 277–279. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-62.3.277>
- Liu, F., Wang, Y., Bi, X., Guo, X., Fu, S., Liao, X., 2013. Comparison of Microbial Inactivation and Rheological Characteristics of Mango Pulp after High Hydrostatic Pressure Treatment and High Temperature Short Time Treatment. *Food Bioprocess Technol.* 6, 2675–2684. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0953-z>
- Lopes, M.L.M., Valente Mesquita, V.L., Chiaradia, A.C.N., Fernandes, A.A.R., Fernandes, P.M.B., 2010. High hydrostatic pressure processing of tropical fruits. *Ann N Y Acad. Sci.* 1189, 6–15. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.05177.x>
- López-Serrano, M., Ros Barceló, A., 2002. Comparative Study of the Products of the Peroxidase-Catalyzed and the Polyphenoloxidase-Catalyzed (+)-Catechin Oxidation. Their Possible Implications in Strawberry (*Fragaria × ananassa*) Browning Reactions. *J. Agric. Food Chem.* 50, 1218–1224. <https://doi.org/10.1021/jf010902z>
- Ludikhuyze, L., Van Loey, A., Indrawati, Hendrickx, M., 2001. Combined high pressure thermal treatment of foods, in: *Thermal Technologies in Food Processing*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, pp. 266–284.
- Lukács, Gy., 1982. *Színmérés*. Műszaki Kiadó, Budapest.
- Ly-Nguyen, B., Van Loey, A.M., Fachin, D., Verlent, I., Duvetter, T., Vu, S.T., Smout, C., Hendrickx, M.E., 2002. Strawberry pectin methylesterase (PME): purification, characterization, thermal and high-pressure inactivation. *Biotechnol Prog* 18, 1447–1450. <https://doi.org/10.1021/bp0256622>
- Mazza, G., Miniati, E., 1993: *Anthocyanins in Fruits, Vegetables and Grains*. 362 Seiten, zahlr. Abb. und Tab. CRC Press, Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokyo 1993. Preis. *Food / Nahrung* 38, 343–343. <https://doi.org/10.1002/food.19940380317>
- Marszałek, K., Mitek, M., Skąpska, S., 2015. The effect of thermal pasteurization and high pressure processing at cold and mild temperatures on the chemical composition, microbial and enzyme activity in strawberry purée. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 27, 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.10.009>
- Marszałek, K., Szczepańska, J., Woźniak, Ł., Skąpska, S., Barba, F.J., Brnčić, M., Brnčić, S.R., 2019. The Preservation of Fruit and Vegetable Products Under High Pressure Processing, in: Ferranti, P., Berry, E.M., Anderson, J.R. (Eds.), *Encyclopedia of Food Security and Sustainability*. Elsevier, Oxford, pp. 481–492. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22258-0>
- Marszałek, K., Woźniak, Ł., Skąpska, S., Mitek, M., 2017. High pressure processing and thermal pasteurization of strawberry purée: quality parameters and shelf life evaluation during cold storage. *J Food Sci Technol* 54, 832–841. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2529-4>
- Martinez, M.V., Whitaker, J.R., 1995. The biochemistry and control of enzymatic browning. *Trends in Food Science & Technology* 6, 195–200. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(00\)89054-8](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(00)89054-8)
- Martínez-Monteagudo, S.I., Rathnakumar, K., 2021. 1.02 - High-Pressure Processing: Fundamentals, Misconceptions, and Advances, in: Knoerzer, K., Muthukumarappan, K. (Eds.), *Innovative Food Processing Technologies*. Elsevier, Oxford, pp. 19–38. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22949-1>

- Matser, A.M., Krebbers, B., van den Berg, R.W., Bartels, P.V., 2004. Advantages of high pressure sterilisation on quality of food products. *Trends in Food Science & Technology* 15, 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.08.005>
- Mazza, G., Miniati, E., 1993. *Anthocyanins in fruits, vegetables, and grains*. CRC Press, Boca Raton. ISBN: 978-1-351-06970-0
- Meilgaard, M., Civille, G.V., Carr, B.T., 1999. *Sensory Evaluation Techniques*, Third Edition. CRC Press. 5-387, <https://doi.org/10.1201/9781439832271>
- Ménager, I., Jost, M., Aubert, C., 2004. Changes in Physicochemical Characteristics and Volatile Constituents of Strawberry (Cv. Cigaline) during Maturation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52, 1248–1254. <https://doi.org/10.1021/jf0350919>
- Mermelstein, N.H., 1998. High Pressure Processing Begins. *Food Technology* 52, 104–106.
- Meyers, K.J., Watkins, C.B., Pritts, M.P., Liu, R.H., 2003. Antioxidant and antiproliferative activities of strawberries. *J Agric Food Chem* 51, 6887–6892. <https://doi.org/10.1021/jf034506n>
- Misra, N.N., Koubaa, M., Roohinejad, S., Juliano, P., Alpas, H., Inácio, R.S., Saraiva, J.A., Barba, F.J., 2017. Landmarks in the historical development of twenty first century food processing technologies. *Food Research International* 97, 318–339. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.05.001>
- Navarro, M., Verret, C., Pardon, P., Moueffak, A.E., 2002. Changes in Volatile Aromatic Compounds of Strawberry Puree Treated by High-pressure During Storage. *High Pressure Research* 22, 693–696. <https://doi.org/10.1080/08957950212413>
- Odziozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R., Martín-Belloso, O., 2008. Phenolic acids, flavonoids, vitamin C and antioxidant capacity of strawberry juices processed by high-intensity pulsed electric fields or heat treatments. *European Food Research and Technology* 228, 239–248. <https://doi.org/10.1007/s00217-008-0928-5>
- Oey, I., Lille, M., Van Loey, A., Hendrickx, M., 2008. Effect of high-pressure processing on colour, texture and flavour of fruit- and vegetable-based food products: a review. *Trends in Food Science & Technology, NovelQ - High Pressure Processing* 19, 320–328. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.04.001>
- Orlien, V., 2017. High pressure treatment and the effects on meat proteins. *Medical Research Archives* 5, 1–10.
- Ornelas-Paz, J. de J., Yahia, E.M., Ramírez-Bustamante, N., Pérez-Martínez, J.D., Escalante-Minakata, M. del P., Ibarra-Junquera, V., Acosta-Muñiz, C., Guerrero-Prieto, V., Ochoa-Reyes, E., 2013. Physical attributes and chemical composition of organic strawberry fruit (*Fragaria x ananassa* Duch, Cv. Albion) at six stages of ripening. *Food Chemistry* 138, 372–381. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.11.006>
- Otero, L., Préstamo, G., 2009. Effects of pressure processing on strawberry studied by nuclear magnetic resonance. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 10, 434–440. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.04.004>
- Özkan, M., 2002. Degradation of anthocyanins in sour cherry and pomegranate juices by hydrogen peroxide in the presence of added ascorbic acid. *Food Chemistry* 78, 499–504. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00165-6](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00165-6)
- Pandey, K.B., Rizvi, S.I., 2009. Plant Polyphenols as Dietary Antioxidants in Human Health and Disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity* 2, 270–278. <https://doi.org/10.4161/oxim.2.5.9498>
- Papp, J., Porpáczy, A., 1999. Szamóca, málna - Bogyósgyümölcsűek I. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 231p. ISBN: 963-286-091-8
- Papp János, Bubán Tamás, 2004. *A gyümölcsök termesztése*. Mezőgazda, Budapest. ISBN: 978-963-286-055-8
- Patras, A., Brunton, N.P., Da Pieve, S., Butler, F., Downey, G., 2009a. Effect of thermal and high pressure processing on antioxidant activity and instrumental colour of tomato and carrot purées. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 10, 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2008.09.008>

- Patras, A., Brunton, N.P., Da Pieve, S., Butler, F., 2009b. Impact of high pressure processing on total antioxidant activity, phenolic, ascorbic acid, anthocyanin content and colour of strawberry and blackberry purées. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 10, 308–313. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2008.12.004>
- Patras, A., Brunton, N.P., O'Donnell, C., Tiwari, B.K., 2010. Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. *Trends in Food Science & Technology* 21, 3–11. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.07.004>
- Patras, A., Brunton, N.P., Tiwari, B.K., Butler, F., 2011. Stability and Degradation Kinetics of Bioactive Compounds and Colour in Strawberry Jam during Storage. *Food Bioprocess Technol* 4, 1245–1252. <https://doi.org/10.1007/s11947-009-0226-7>
- Pellegrini, N., Serafini, M., Colombi, B., Del Rio, D., Salvatore, S., Bianchi, M., Brighenti, F., 2003. Total antioxidant capacity of plant foods, beverages and oils consumed in Italy assessed by three different in vitro assays. *J Nutr* 133, 2812–2819. <https://doi.org/10.1093/jn/133.9.2812>
- Peñas, E., Frias, J., Gomez, R., Vidal-Valverde, C., 2010. High hydrostatic pressure can improve the microbial quality of sauerkraut during storage. *Food Control* 21, 524–528. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2009.08.001>
- Plaza, L., Muñoz, M., Ancos, B. de, Cano, M.P., 2003. Effect of combined treatments of high-pressure, citric acid and sodium chloride on quality parameters of tomato puree. *European and Food Research and Technology* 216, 514–519.
- Podani, J., 2000. Introduction to the exploration of multivariate biological data. Backhuys Publishers, Leiden. 407p, ISBN: 978-90-5782-067-0
- Préstamo, G., Arroyo, G., 1998. High Hydrostatic Pressure Effects on Vegetable Structure. *Journal of Food Science* 63, 878–881. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1998.tb17918.x>
- Proteggente, A.R., Pannala, A.S., Paganga, G., Van Buren, L., Wagner, E., Wiseman, S., Van De Put, F., Dacombe, C., Rice-Evans, C.A., 2002. The antioxidant activity of regularly consumed fruit and vegetables reflects their phenolic and vitamin C composition. *Free Radic Res* 36, 217–233. <https://doi.org/10.1080/10715760290006484>
- Queirós, R.P., Gouveia, S., Saraiva, J.A., Lopes-da-Silva, J.A., 2019. Impact of pH on the high-pressure inactivation of microbial transglutaminase. *Food Res Int* 115, 73–82. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.002>
- Ramaswamy, H.S., Riahi, E., 2003. High-pressure inactivation kinetics of polyphenol oxidase in apple juice. *Applied Biotechnology. Food Science and Policy* 189–197.
- Ramos, B., Miller, F.A., Brandão, T.R.S., Teixeira, P., Silva, C.L.M., 2013. Fresh fruits and vegetables—An overview on applied methodologies to improve its quality and safety. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 20, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.07.002>
- Rastogi, N.K., Raghavarao, K.S.M.S., Balasubramaniam, V.M., Niranjan, K., Knorr, D., 2007. Opportunities and Challenges in High Pressure Processing of Foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 47, 69–112. <https://doi.org/10.1080/10408390600626420>
- Rein, M., 2005. Copigmentation reactions and color stability of berry anthocyanins. University of Helsinki, Helsinki.
- Rice-Evans, C., Miller, N., Paganga, G., 1997. Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends in Plant Science* 2, 152–159. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(97\)01018-2](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(97)01018-2)
- Rice-Evans, C.A., Miller, N.J., Paganga, G., 1996. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology and Medicine* 20, 933–956. [https://doi.org/10.1016/0891-5849\(95\)02227-9](https://doi.org/10.1016/0891-5849(95)02227-9)
- Rodrigo, D., Loey, A. van, Hendrickx, M., 2007. Combined thermal and high pressure colour degradation of tomato puree and strawberry juice. *Journal of Food Engineering* 2, 553–560. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.02.015>
- Rovere, P., 1995. The third dimension of food technology, *Tecnologie Alimentari Sistemi per produrre*, 2-8.

- Sablani, S.S., Andrews, P.K., Davies, N.M., Walters, T., Saez, H., Syamaladevi, R.M., Mohekar, P.R., 2010. Effect of thermal treatments on phytochemicals in conventionally and organically grown berries. *J Sci Food Agric* 90, 769–778. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3882>
- Salamon, B., 2010. Különböző hőmérsékleteken tárolt, nagy hidrosztatikus nyomással kezelt szamócapürék színváltozásának vizsgálata. *Élelmiszer Tudomány Technológia* LXV., 14–17.
- Salamon, B., Farkas, V., Kenesei, G., Dalmadi, I., 2017a. Effect of added sugar and ascorbic acid on the anthocyanin content of high pressure processed strawberry juices during storage. *J. Phys.: Conf. Ser.* 950, 042005. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/950/4/042005>
- Salamon, B., Gere, A., Csehi, B., Dalmadi, I., 2018. Effect of high hydrostatic pressure and mild heat treatment applied in different sequence on sensory attributes of strawberry puree, in: 56th EHPRG Meeting Abstracts. European High Pressure Research Group (56th), Aveiro, Portugal, p. P112.
- Salamon, Bertold, Kenesei, G., Hussein, K.N., Kiskó, G., Dalmadi, I., 2017b. Kombinált tartósító eljárások alkalmazása szamócapüré minőségének megőrzésének céljából. *ÉLELMISZER - TUDOMÁNY TECHNOLÓGIA* 71, 15–21.
- Salamon, B., Tóth, A., Palotás, P., Südi, G., Csehi, B., Németh, C., Friedrich, L., 2016. Effect of high hydrostatic pressure (HHP) processing on organoleptic properties and shelf life of fish salad with mayonnaise. *Acta Alimentaria* 45, 558–564. <https://doi.org/10.1556/066.2016.45.4.13>
- Salamon, B., Zakariás, F., Csehi, B., Kiskó, G., Dalmadi, I., 2021. Different sequence of high-hydrostatic pressure and mild-heat treatment on the colour and sensory characteristics of strawberry puree. *Acta Alimentaria* 50, 93–101. <https://doi.org/10.1556/066.2020.00165>
- Sánchez-Moreno, C., De Ancos, B., Plaza, L., Elez-Martínez, P., Cano, M.P., 2009. Nutritional Approaches and Health-Related Properties of Plant Foods Processed by High Pressure and Pulsed Electric Fields. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 49, 552–576. <https://doi.org/10.1080/10408390802145526>
- Sánchez-Moreno, C., Plaza, L., Elez-Martínez, P., De Ancos, B., Martín-Belloso, O., Cano, M.P., 2005. Impact of High Pressure and Pulsed Electric Fields on Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Orange Juice in Comparison with Traditional Thermal Processing. *J. Agric. Food Chem.* 53, 4403–4409. <https://doi.org/10.1021/jf048839b>
- Sass, P., 1986. Gyümölcsárolás. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 313-407
- Seeram, N.P., Lee, R., Scheuller, H.S., Heber, D., 2006. Identification of phenolic compounds in strawberries by liquid chromatography electrospray ionization mass spectroscopy. *Food Chemistry* 97, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.02.047>
- Sevenich, R., Kleinstueck, E., Crews, C., Anderson, W., Pye, C., Riddellova, K., Hradecky, J., Moravcova, E., Reineke, K., Knorr, D., 2014. High-Pressure Thermal Sterilization: Food Safety and Food Quality of Baby Food Puree: HPTS and its impact on FPCs and spores.... *Journal of Food Science* 79, M230–M237. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12345>
- Shigehisa, T., Ohmori, T., Saito, A., Taji, S., Hayashi, R., 1991. Effects of high hydrostatic pressure on characteristics of pork slurries and inactivation of microorganisms associated with meat and meat products. *International Journal of Food Microbiology* 12, 207–215. [https://doi.org/10.1016/0168-1605\(91\)90071-V](https://doi.org/10.1016/0168-1605(91)90071-V)
- Sila, D.N., Duvetter, T., De Roeck, A., Verlent, I., Smout, C., Moates, G.K., Hills, B.P., Waldron, K.K., Hendrickx, M., Van Loey, A., 2008. Texture changes of processed fruits and vegetables: potential use of high-pressure processing. *Trends in Food Science & Technology, NovelQ - High Pressure Processing* 19, 309–319. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.12.007>
- Sila, D.N., Smout, C., Satara, Y., Truong, V., Loey, A.V., Hendrickx, M., 2007. Combined thermal and high pressure effect on carrot pectinmethylesterase stability and catalytic activity. *Journal of Food Engineering* 78, 755–764. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.11.016>
- Singleton, V.L., Rossi, J.A., 1965. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *Am J Enol Vitic.* 16, 144–158.
- Sipos L., 2009. Ásványvízfogyasztási szokások elemzése és ásványvizek érzékszervi vizsgálata in: PhD Disszertáció, Budapesti Corvinus Egyetem, 255p

- Sokołowska, B., Skąpska, S., Fonberg-Broczek, M., Niezgoda, J., Chotkiewicz, M., Dekowska, A., Rzoska, S.J., 2013. Factors influencing the inactivation of *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores exposed to high hydrostatic pressure in apple juice. *High Pressure Research* 33, 73–82. <https://doi.org/10.1080/08957959.2013.772170>
- Sokołowska, B., Skąpska, S., Niezgoda, J., Rutkowska, M., Dekowska, A., Rzoska, S.J., 2014. Inactivation and sublethal injury of *Escherichia coli* and *Listeria innocua* by high hydrostatic pressure in model suspensions and beetroot juice. *High Pressure Research* 34, 147–155. <https://doi.org/10.1080/08957959.2013.877458>
- Soliva-Fortuny, R.C., Elez-Martínez, P., Sebastián-Calderó, M., Martín-Belloso, O., 2002. Kinetics of polyphenol oxidase activity inhibition and browning of avocado purée preserved by combined methods. *Journal of Food Engineering* 55, 131–137. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00027-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00027-4)
- Srivastava, A., Akoh, C.C., Yi, W., Fischer, J., Krewer, G., 2007. Effect of storage conditions on the biological activity of phenolic compounds of blueberry extract packed in glass bottles. *J Agric Food Chem* 55, 2705–2713. <https://doi.org/10.1021/jf062914w>
- Sturm, K., Koron, D., Stampar, F., 2003. The composition of fruit of different strawberry varieties depending on maturity stage. *Food Chemistry* 83, 417–422. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00124-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00124-9)
- Subramanian, A., Ahn, J., Balasubramaniam, V.M., Rodriguez-Saona, L., 2006. Determination of Spore Inactivation during Thermal and Pressure-Assisted Thermal Processing Using FT-IR Spectroscopy. *J. Agric. Food Chem.* 54, 10300–10306. <https://doi.org/10.1021/jf0622174>
- Sulaiman, A., Silva, F.V.M., 2013. High pressure processing, thermal processing and freezing of ‘Camarosa’ strawberry for the inactivation of polyphenoloxidase and control of browning. *Food Control* 33, 424–428. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.03.008>
- Tadapaneni, R.K., Daryaei, H., Krishnamurthy, K., Edirisinghe, I., Burton-Freeman, B.M., 2014. High-Pressure Processing of Berry and Other Fruit Products: Implications for Bioactive Compounds and Food Safety. *J. Agric. Food Chem.* 62, 3877–3885. <https://doi.org/10.1021/jf404400q>
- Tadapaneni, R.K., Edirisinghe, I., Burton-Freeman, B., 2015. High-Pressure Processing, Strawberry Beverages, and Composition of ‘Bioactives,’ in: *Processing and Impact on Active Components in Food*. Elsevier, pp. 619–627. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404699-3.00075-5>
- Tahiri, I., Makhlof, J., Paquin, P., Fliss, I., 2006. Inactivation of food spoilage bacteria and *Escherichia coli* O157:H7 in phosphate buffer and orange juice using dynamic high pressure. *Food Research International* 39, 98–105. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.06.005>
- Takahashi, Y., Ohta, H., Yonei, H., Ifuku, Y., 1993. Microbicidal effect of hydrostatic pressure on satsuma mandarin juice. *International Journal of Food Science & Technology* 28, 95–102. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1993.tb01254.x>
- Tan, X.Y., 2011. Effects of high hydrostatic pressure processing on microbial inactivation, endoenzymes and qualities of peach juice, in: *PhD Disszertáció*. China Agriculture University, Beijing, Kína.
- Terefe, N.S., Buckow, R., 2017. High-pressure processing effects on endogenous enzymes in fruits and vegetables, in: *High Pressure Processing of Fruit and Vegetable Products*. pp. 39–62.
- Terefe, N.S., Buckow, R., Versteeg, C., 2014. Quality-Related Enzymes in Fruit and Vegetable Products: Effects of Novel Food Processing Technologies, Part 1: High-Pressure Processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 54, 24–63. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.566946>
- Terefe, N.S., Kleintschek, T., Gamage, T., Fanning, K.J., Netzel, G., Versteeg, C., Netzel, M., 2013. Comparative effects of thermal and high pressure processing on phenolic phytochemicals in different strawberry cultivars. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 19, 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.05.003>
- Terefe, N.S., Matthies, K., Simons, L., Versteeg, C., 2009. Combined high pressure-mild temperature processing for optimal retention of physical and nutritional quality of strawberries

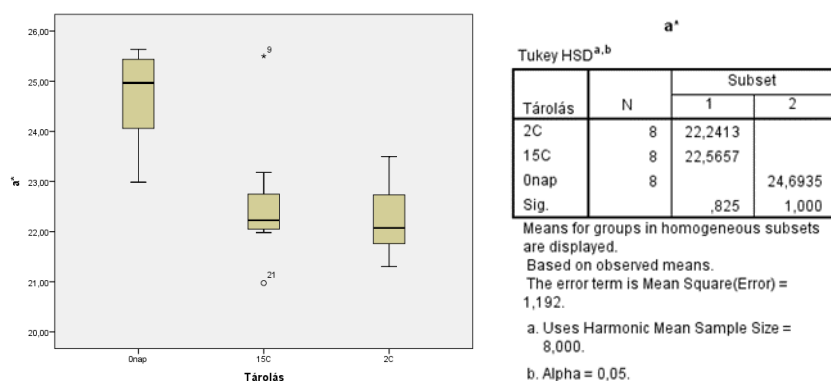
- (*Fragaria*×*ananassa*). *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 10, 297–307. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2008.12.003>
- Terefe, N.S., Yang, Y.H., Knoerzer, K., Buckow, R., Versteeg, C., 2010. High pressure and thermal inactivation kinetics of polyphenol oxidase and peroxidase in strawberry puree. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 11, 52–60.
- Testo 206 pH2 pH/temperature measuring instrument | pH | Parameters | Testo, Inc, n.d. URL: <https://www.testo.com/en-US/testo-206-ph2/p/0563-2066> (accessed 2.8.21).
- Timmermans, R., Hayrapetyan, H., Vollebregt, M., Dijksterhuis, J., 2020. Comparing thermal inactivation to a combined process of moderate heat and high pressure: Effect on ascospores in strawberry puree. *International Journal of Food Microbiology* 325, 108629. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108629>
- Tiwari, B.K., O'Donnell, C.P., Cullen, P.J., 2009a. Effect of non thermal processing technologies on the anthocyanin content of fruit juices. *Trends in Food Science & Technology* 20, 137–145. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.01.058>
- Tiwari, B.K., O'Donnell, C.P., Patras, A., Brunton, N., Cullen, P.J., 2009b. Stability of anthocyanins and ascorbic acid in sonicated strawberry juice during storage. *Eur Food Res Technol* 228, 717–724. <https://doi.org/10.1007/s00217-008-0982-z>
- Tomás-Barberán, F.A., Espín, J.C., 2001. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 81, 853–876. <https://doi.org/10.1002/jsfa.885>
- Torres, J.A., Serment-Moreno, V., Escobedo-Avellaneda, Z.J., Velazquez, G., Welti-Chanes, J., 2016. Reaction Chemistry at High Pressure and High Temperature, in: Balasubramaniam, V.M., Barbosa-Cánovas, G.V., Lelieveld, H.L.M. (Eds.), *High Pressure Processing of Food: Principles, Technology and Applications*, Food Engineering Series. Springer, New York, NY, pp. 461–478. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3234-4_21
- Tournas, V.H., Katsoudas, E., 2005. Mould and yeast flora in fresh berries, grapes and citrus fruits. *International Journal of Food Microbiology* 105, 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2005.05.002>
- Tulipani, S., Mezzetti, B., Capocasa, F., Bompadre, S., Beekwilder, J., de Vos, C.H.R., Capanoglu, E., Bovy, A., Battino, M., 2008. Antioxidants, phenolic compounds, and nutritional quality of different strawberry genotypes. *J Agric Food Chem* 56, 696–704. <https://doi.org/10.1021/jf0719959>
- Vámos-Vigyázó, L., Haard, N.F., 1981. Polyphenol oxidases and peroxidases in fruits and vegetables. *C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 15, 49–127. <https://doi.org/10.1080/10408398109527312>
- Van der Plancken, I., Verbeyst, L., De Vleeschouwer, K., Grauwet, T., Heiniö, R.-L., Husband, F.A., Lille, M., Mackie, A.R., Van Loey, A., Viljanen, K., Hendrickx, M., 2012. (Bio)chemical reactions during high pressure/high temperature processing affect safety and quality of plant-based foods. *Trends in Food Science & Technology* 23, 28–38. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.08.004>
- Verbeyst, L., Oey, I., Van der Plancken, I., Hendrickx, M., Van Loey, A., 2010. Kinetic study on the thermal and pressure degradation of anthocyanins in strawberries. *Food Chemistry* 123, 269–274. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.04.027>
- Verlent, I., Hendrickx, M., Rovere, P., Moldenaers, P., Loey, A.V., 2006. Rheological Properties of Tomato-based Products after Thermal and High-pressure Treatment. *Journal of Food Science* 71, S243–S248. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.tb15648.x>
- Visiongain, 2015. The food high pressure processing (HPP) technologies market forecast 2015-2015: Pascalization & Bridgmanization. Visiongain. URL: <https://www.visiongain.com/food-high-pressure-processing-hpp-technologies-market-worth-over-13-billion-in-2017-says-visiongain-report/> (accessed 2.8.21).
- Wang, S.Y., Jiao, H., 2000. Scavenging Capacity of Berry Crops on Superoxide Radicals, Hydrogen Peroxide, Hydroxyl Radicals, and Singlet Oxygen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48, 5677–5684. <https://doi.org/10.1021/jf000766i>

- Wang, S.Y., Lin, H.S., 2000. Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry, and strawberry varies with cultivar and developmental stage. *J Agric Food Chem* 48, 140–146. <https://doi.org/10.1021/jf9908345>
- Wesche-Ebeling, P., Montgomery, M.W., 1990. Strawberry Polyphenoloxidase: Its Role in Anthocyanin Degradation. *Journal of Food Science* 55, 731–734. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb05217.x>
- Wrolstad, R.E., Durst, R.W., Lee, J., 2005. Tracking color and pigment changes in anthocyanin products. *Trends in Food Science & Technology* 16, 423–428. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.03.019>
- Wu, X., Beecher, G.R., Holden, J.M., Haytowitz, D.B., Gebhardt, S.E., Prior, R.L., 2006. Concentrations of Anthocyanins in Common Foods in the United States and Estimation of Normal Consumption. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54, 4069–4075. <https://doi.org/10.1021/jf0603001>
- Wu, X., Prior, R.L., 2005. Identification and characterization of anthocyanins by high-performance liquid chromatography-electrospray ionization-tandem mass spectrometry in common foods in the United States: vegetables, nuts, and grains. *J Agric Food Chem* 53, 3101–3113. <https://doi.org/10.1021/jf0478861>
- Yen, G.C., Lin, H.T., 1999. Changes in volatile flavor components of guava juice with high-pressure treatment and heat processing and during storage. *J Agric Food Chem* 47, 2082–2087. <https://doi.org/10.1021/jf9810057>
- Yordanov, D.G., Angelova, G.V., 2010. High Pressure Processing for Foods Preserving. *Biotechnology & Biotechnological Equipment* 24, 1940–1945. <https://doi.org/10.2478/V10133-010-0057-8>
- Zabetakis, I., Holden, M.A., 1997. Strawberry Flavour: Analysis and Biosynthesis. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 74, 421–434. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199708\)74:4<421::AID-JSFA817>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199708)74:4<421::AID-JSFA817>3.0.CO;2-6)
- Zabetakis, I., Koulentianos, A., Orruno, E., Boyes, I., 2000a. The effect of high hydrostatic pressure on strawberry flavour compounds. *Food Chemistry* 71, 51–55. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00124-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00124-2)
- Zabetakis, I., Leclerc, D., Kajda, P., 2000b. The Effect of High Hydrostatic Pressure on the Strawberry Anthocyanins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48, 2749–2754. <https://doi.org/10.1021/jf9911085>
- Zhang, X., Sun, Y., Yang, Q., Chen, L., Li, W., Zhang, H., 2015. Control of postharvest black rot caused by *Alternaria alternata* in strawberries by the combination of *Cryptococcus laurentii* and Benzo-(1,2,3)-thiadiazole-7-carbothioic acid S-methyl ester. *Biological Control* 90, 96–101. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.05.018>
- Zhang, Z., Pang, X., Xuwu, D., Ji, Z., Jiang, Y., 2005. Role of peroxidase in anthocyanin degradation in litchi fruit pericarp. *Food Chemistry* 90, 47–52. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.03.023>
- Zhou, L., Wang, Y., Hu, X., Wu, J., Liao, X., 2009. Effect of high pressure carbon dioxide on the quality of carrot juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 10, 321–327. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.01.002>
- 4/1998. (XI. 11.) EüM rendelet az élelmiszerekben előforduló mikrobiológiai szennyeződések megengedhető mértékéről - Hatályos Jogszabályok Gyűjteménye. URL: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99800004.eum> (accessed 5.16.21).

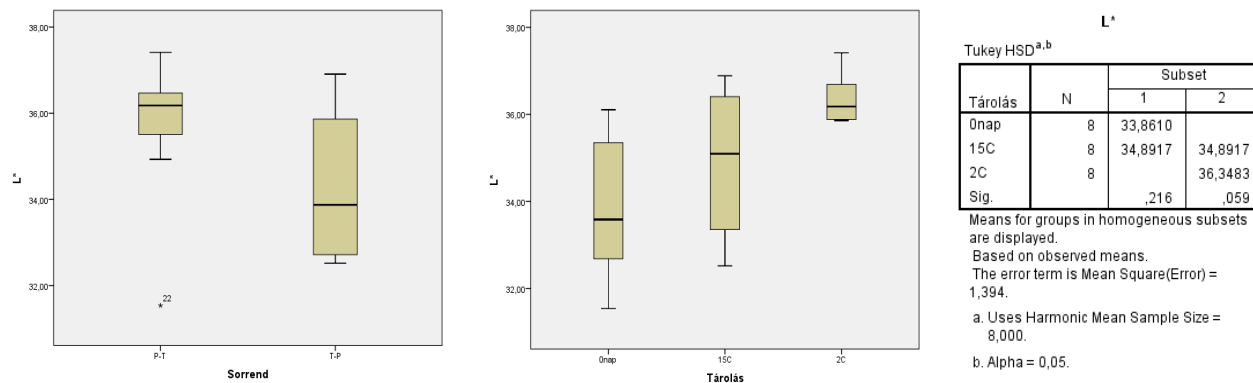
M2.

M2_1. táblázat A kéttényezős varianciaanalízis szignifikancia tényezői, kék színnel kiemelve a szignifikáns változásokat 95%-os valószínűségi szinten.

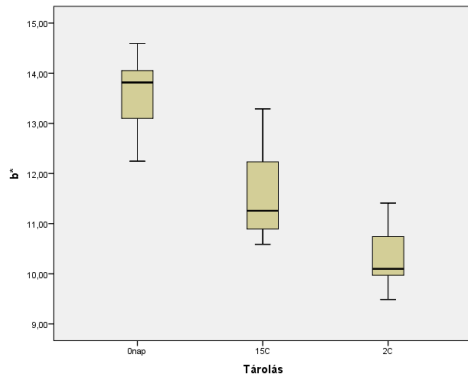
	Nyomáskezelés	Hőkezelés	Kezelési Sorrend	Tárolás
L*	0,471	0,564	0,005	0,002
a*	0,959	0,968	0,449	0,001
b*	0,822	0,468	0,441	0,000
ΔE^*	0,834	0,301	0,881	0,001
Antocianin-tartalom	0,033	0,247	0,750	0,000
pH	0,130	0,000	0,011	0,520
Antioxidáns kapacitás	0,187	0,199	0,940	0,000
Összpolifenol-tartalom	0,446	0,241	0,255	0,000



M2_1. ábra Az a* értékek közötti eltérés mértéke a tárolás szerint, valamint a hozzá tartozó Tukey teszt eredménye



M2_2. ábra Az L* értékek közötti eltérés mértéke a sorrend szerint, az L* értékek közötti eltérés mértéke a tárolás szerint és a Tukey teszt eredménye az L* értékekre



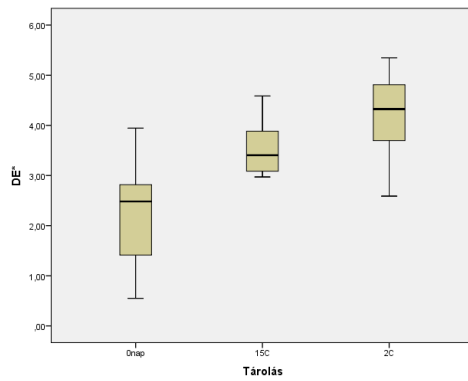
b*

Tukey HSD^{a,b}

Tárolás	N	Subset		
		1	2	3
2C	8	10,3143		
15C	8		11,5798	
0nap	8			13,5970
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
 Based on observed means.
 The error term is Mean Square(Error) = ,685.
 a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.
 b. Alpha = 0,05.

M2_3. ábra A b^* értékek közötti eltérés mértéke a tárolás szerint, valamint a Tukey teszt eredménye a b^* értékekre



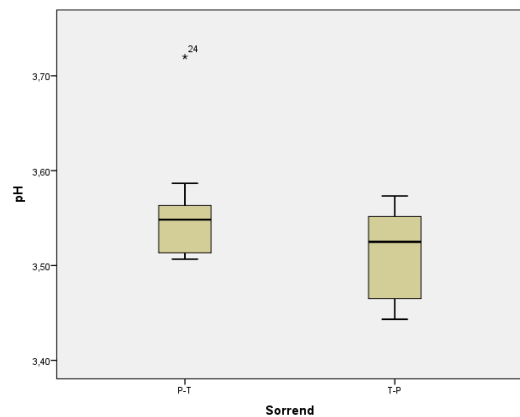
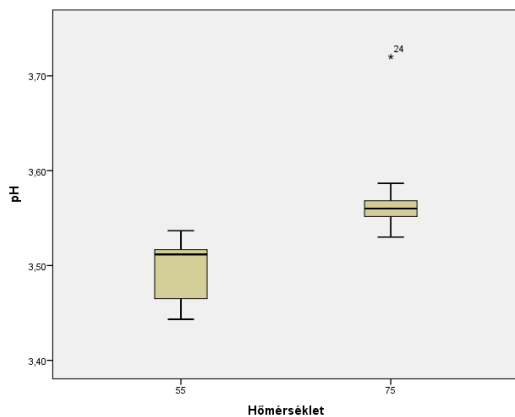
ΔE*

Tukey HSD^{a,b}

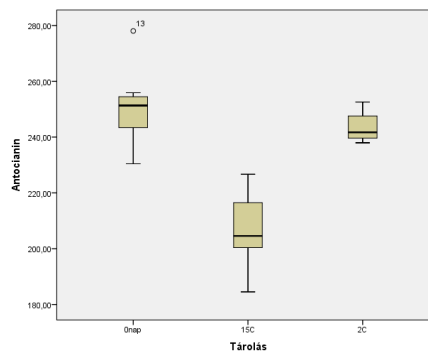
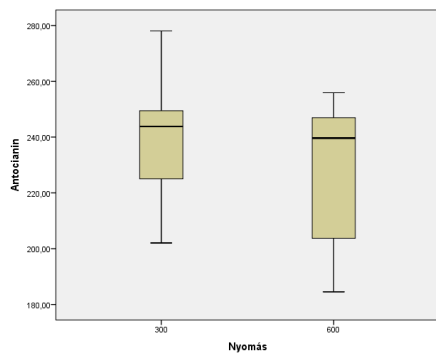
Tárolás	N	Subset	
		1	2
0nap	8	2,2402	
15C	8		3,5381
2C	8		4,1990
Sig.		1,000	,338

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
 Based on observed means.
 The error term is Mean Square(Error) = ,833.
 a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.
 b. Alpha = 0,05.

M2_4. ábra Az ΔE^*_{ab} értékek közötti eltérés mértéke a tárolás szerint, valamint a Tukey teszt eredménye az ΔE^*_{ab} értékekre



M2_5. ábra A pH értékek közötti eltérés mértéke a kezelési hőmérséklet szerint, valamint a pH értékek közötti eltérés mértéke a kezelési sorrend szerint



Antocianin
Tukey HSD^{a,b}

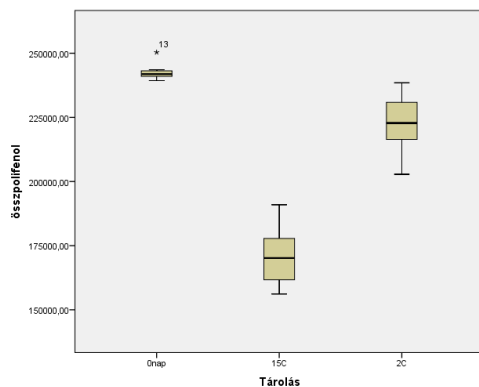
Tárolás	N	Subset	
		1	2
15C	8	206,7531	
2C	8		243,5428
0nap	8		250,8486
Sig.		1,000	,369

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 111,122.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

b. Alpha = 0,05.

M2_6. ábra A minták antocianin-tartalma közötti eltérés mértéke a nyomás szerint, a minták antocianin-tartalma közötti eltérés mértéke a tárolás szerint, valamint a Tukey teszt eredménye az antocianin értékekre



összpolicfenol
Tukey HSD^{a,b}

Tárolás	N	Subset		
		1	2	3
15C	8	170794,9898		
2C	8		222669,9898	
0nap	8			242719,8364
Sig.		1,000	1,000	1,000

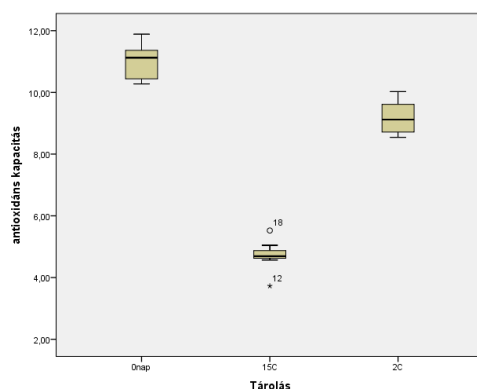
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 91600784,459.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

b. Alpha = 0,05.

M2_7. ábra A minták összpolicfenol-tartalma közötti eltérés mértéke a tárolás szerint és a Tukey teszt eredménye az összpolicfenol értékekre



antioxidáns kapacitás
Tukey HSD^{a,b}

Tárolás	N	Subset		
		1	2	3
15C	8	4,7036		
2C	8		9,1825	
0nap	8			11,0005
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,281.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

b. Alpha = 0,05.

M2_8. ábra A minták antioxidáns kapacitása közötti eltérés mértéke a tárolás szerint, valamint a Tukey teszt eredménye az antioxidáns kapacitás értékekre

M3.

Háromszög-teszt (ISO 4120:2004). Nevét onnan kapta, hogy egy blokkban három mintát vizsgálunk. A mintahármasokon belül kettő minta egyforma, egy különböző. A feladat a különböző minta kiválasztása. Kísérletemben minden bíráló két mintahármasot kapott. Az egyes mintahármasok tagjai a tálcán függőleges sorokban helyezkednek el. A bíráló először leírja a tálcaszámot és a minták kódszámait. Az első mintahármas tagjait a bíráló egyenként kóstolja meg, majd kiválasztja a különböző mintát a kódszám melletti mező megjelölésével. Ezután rátérhet a következő mintahármas bíralatára. Az összes mintahármas száma lehetőség szerint osztható kell lennie a lehetséges változatok (ABB, BBA, BAB, ABA, AAB, BAA) számával, jelen esetben hattal, hogy a kiegyenlített mintapozícionálás biztosítható legyen. A háromszögteszt bírálati lapját az M3_1. ábra mutatja be:

Bíráló kódja vagy neve:		
Tálcaszám:	Dátum:	
Feladat ismertetése:		
<ol style="list-style-type: none"> 1) Ön két tesztfeladatot kapott. Egy tesztfeladathoz három pohár tartalmát melyek egy osztályban helyezkednek el. 2) Először írja le a tálcaszámát és a poharak kódszámait ennek a bírálati lapnak a megfelelő részére. 3) <u>Egy tesztfeladaton belül két pohár tartalmát egyformán, egy eltérő. A feladat az eltérő minta kiválasztása.</u> 4) Az első tesztfeladatot pohárcaiban található mintákat kóstolja meg egyenként. 5) <u>Válassza ki a három minta közül az eltérőt a kódszám melletti mező megjelölésével. Írja le az újis hogyan az eltérés oka.</u> 6) Amennyiben nem tud különbséget tenni, akkor is választania kell, ez esetben jelezze, hogy csak tippelt. 7) Ezután rátérhet a következő mintahármas bírálatra. 8) Ha befejezte a bírálatot, kérem jelezze ezt a bírálatot vezető személyeknek. 		
KÖSZÖNÜNK SEGÍTSÉGÉT! VISZONTLÁTÁSRA AKÖVETKEZŐ ÉRZÉKSZERVI TESZTREN!		
1. tesztfeladat		
Írja a 3jegyű kódokat	Tegyen X-et az eltérő mellé	Írja le, hogy miben tér el a megjelölt minta (vagy azt, ha csak tippelt)
<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
2. tesztfeladat		
<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>

M3_1. ábra Háromszögteszt bírálati lapja

Amennyiben a bíráló nem tud különbséget tenni a minták között, akkor is választania kell. Az ún. kötelező választás (*forced choice*), azonban ez esetben jelzi, hogy véletlenszerű választás történt. A bírálók a minták között általában ízsemlegesítőt fogyasztanak. Amennyiben a bírálónak valamelyik mintával kapcsolatos egyéb észrevétele van, azt leírja a megfelelő minta mellé.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném köszönetemet és hálámat kifejezni témavezetőmnek **Dr. Dalmadi Istvánnak**, kitartó segítségéért, hasznos útmutatásaiért és végtelen türelméért a dolgozat elkészítése során.

Szeretném köszönetemet nyilvánítani a Hűtő- és Állatitermék Technológia Tanszék vezetőjének **Dr. Friedrich Lászlónak**, hogy biztosította a feltételeket dolgozatom elkészítéséhez.

Köszönettel tartozom továbbá a **Hűtő- és Állatitermék Technológia Tanszék dolgozóinak**, akik szakmai segítségükkel, tanácsaikkal és lelkesítésükkel támogatták dolgozatom elkészültét.

Hálával tartozom **Juhász Rékának** a reológiai vizsgálatokban, valamint **Kiskó Gabriellának** a mikrobiológiai vizsgálatok elvégzésében történő közreműködésükért. Emellett **Gere Attilának** az érzékszervi vizsgálatok kivitelezésében nyújtott segítségéért, illetve statisztikai kiértékelésekhez adott hasznos tanácsaiért.

Köszönet a kutatásban résztvevő egyetemista hallgatóknak, akik segítették a kísérletek kivitelezését.

Külön köszönöm páromnak, hogy kitartóan biztatott és lelkesített a dolgozat elkészítésében, bátorítása nélkül nem készült volna el ez a dolgozat. Szeretném még megköszönni családomnak és barátaimnak, hogy támogattak a doktori munkám elvégzése során.