



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar
Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék

Mélyhűtött sütőipari termékek minőségjavításának lehetőségei

Készítette

Gasparics Kata

biomérnök hallgató, BSc

Témavezetők

Dr. Tömösközi Sándor

tanszékvezető egyetemi docens

Dr. Jaksics Edina

tudományos segédmunkatárs

Budapest, 2024

Tartalom

1.	Bevezetés és célkitűzések.....	8
2.	Irodalmi áttekintés.....	9
2.1	A kenyérfőzés folyamatának lépései	9
2.2	A kenyér összetevői, tésztakészítésben betöltött szerepük.....	12
2.2.1	A liszt szerepe a kenyérfőzésben	12
2.2.2	A víz szerepe a kenyérfőzésben	14
2.2.3	Az élesztő és a kovász szerepe a kenyérfőzésben.....	15
2.2.4	A só szerepe a kenyérfőzésben.....	15
2.2.5	A cukor szerepe a kenyérfőzésben	16
2.3	A fagyasztás tésztaszerkezetre gyakorolt kedvezőtlen hatásai és a hatások kiváltó okai	16
2.4	Az alapanyagminőség hatása a fagyasztott termékekre	19
2.5	A fagyasztás kedvezőtlen hatásainak kiküszöbölése az előállítási lépések optimalizálásával	22
2.5.1	Az optimális fagyasztás előtti fermentációs idő jelentősége	22
2.5.2	Az optimális elősütési idő	22
2.5.3	A megfelelő fagyasztási sebesség és hőmérséklet jelentősége.....	23
2.6	Adalékanyagok alkalmazása a fagyasztás káros hatásainak mérséklése céljából.....	24
2.6.1	Hidrokolloidok alkalmazásának hatásai	24
2.6.2	Egyéb adalékanyagok.....	26
2.7	Élelmi rostok alkalmazása a fagyasztás kedvezőtlen hatásainak kiküszöbölésére	28
2.7.1	A gabonaőrleményekben található, illetve a kenyérfőzés során leggyakrabban alkalmazott élelmi rostok	28
2.7.2	Az élelmi rostok hatása a viszkozus-, és dagasztási tulajdonságokra, valamint a végtermék minőségére	30
2.7.3	Az élelmi rostok hatása a sokkolt pékáruk minőségére.....	35
2.8	A sokkolt pékáruk minősítésének lehetőségei	37
3.	Anyagok és módszerek	41
3.1	Kísérletterv	41
3.2	Anyagok	41
3.3	Alkalmazott módszerek.....	42
3.3.1	Beltartalmi vizsgálatok.....	42
3.3.2	Reológiai vizsgálatok.....	51
3.3.3	Kenérsütési protokoll	56
3.3.4	Végtermékminősítés.....	58
3.3.5	Statisztika elemzés.....	62
4.	Eredmények és kiértékelés.....	63

4.1	Beltartalmi összetétel	63
4.2	Reológiai mérések eredményei	66
4.2.1	Viszkózus tulajdonságok vizsgálata RVA készülékkel	66
4.2.2	Dagasztási tulajdonságok vizsgálata micro-DoughLAB készülékkel	71
4.2.3	Viszkózus és dagasztási tulajdonságok együttes vizsgálata Mixolab készülékkel	74
4.3	Mérési módszer fejlesztése a sokkolt, illetve elősütött-sokkolt pékáruk minősítésére.....	79
4.3.1	Az egy napon belül végzett mérések összehasonlítása a módszer ismételhetőségének meghatározására	80
4.3.2	A különböző napokon végzett mérések összehasonlítása a módszer ismételhetőségének meghatározására.....	83
4.4	Végtermék minősítés	86
4.4.1	Sütési veszteség, fajlagos térfogat.....	86
4.4.2	Bélzet jellemzőinek összehasonlítása	89
4.4.3	Bélzet állományvizsgálata	90
5.	Következtetések.....	96
6.	Összefoglalás	97
7.	Irodalomjegyzék	98
8.	Függelék.....	109

Ábrajegyzék

1. ábra: A gázvisszatartás kelesztés alatt (Sun, Scanlon, et al., 2023).....	10
2. ábra: A pórusméret növekedése kelesztés és sütés alatt (Sun, Scanlon, et al., 2023).....	10
3. ábra: A hagyományos-, illetve elősütéses kenyérfőzés folyamatai (Karaoglu, 2015)	12
4. ábra: A gliadinból és gluteninből dagasztás során kialakuló síkérháló (Rosell, 2015)	13
5. ábra: A keményítő szerkezetének változása (Jiang et al., 2024)	14
6. ábra: A síkérfehérjék depolimerizációja redukált glutation hatására (L. Guo et al., 2020)..	18
7. ábra: A búzakorpában található élelmi rostok hatása a reológiai tulajdonságokra és a végtermék minőségére (Sun, Wu, et al., 2023)	34
8. ábra: A kutatás során alkalmazott kísérletterv	41
9. ábra: A RVA mérésre jellemző lefutású görbe a meghatározható paraméterek szemléltetésével (Rayner et al., 2016).....	52
10. ábra: A micro-DoughLAB mérésre jellemző lefutású görbe a meghatározható paraméterek szemléltetésével (Bason et al., 2005)	54
11. ábra: A Mixolab mérésre jellemző lefutású görbe a meghatározható paraméterek szemléltetésével(Ozturk et al., 2008)	55
12. ábra: A TPA mérésre jellemző lefutású görbe a meghatározható paraméterek szemléltetésével (Johnson, 2015).....	61
13. ábra: A négy alapliszt szárazanyagtartalomra vonatkoztatott nyersfehérje-, nyerszsír-, nedves síkér-, és hamutartalma; *a liszt az adott mérési módszerrel nem vizsgálható.....	63
14. ábra: A négy alapliszt szárazanyagtartalomra vonatkoztatott teljes-, valamint oldható-, és oldhatatlan élelmi rosttartalma	65
15. ábra: A négy alapliszt szárazanyagtartalomra vonatkoztatott keményítőtartalma, valamint az amilóz/amilopektin arány	66
16. ábra: A négy liszt és két lisztkeverék viszkózus tulajdonságait jellemező görbéi.....	67
17. ábra: A DBL-keverék és alaplisztjeinek viszkózus tulajdonságait jellemző RVA görbéi ..	69
18. ábra: A waxy-keverék és alaplisztjeinek viszkózus tulajdonságait jellemző RVA görbéi..	70
19. ábra: Az négy alapliszt és két lisztkeverék dagasztási görbéje	71
20. ábra: A DBL-keverék és alaplisztjeinek dagasztási görbéi	73
21. ábra: A waxy-keverék és alaplisztjeinek dagasztási görbéi.....	74
22. ábra: A négy liszt és két lisztkeverék dagasztási és viszkózus tulajdonságát jellemző görbék	75

23. ábra: A DBL-keverék és alaplisztjeinek dagasztási és viszkózus tulajdonságait jellemző görbéi.....	77
24. ábra: A waxy-keverék és alaplisztjeinek Mixolab görbéi.....	78
25. ábra: A sokkolt pékáruk terméktesztjének fejlesztéséhez külön napokok előállított kenyerek	84
26. ábra: A sokkolt és elősütött pékáruk terméktesztjének fejlesztéséhez külön napokok előállított kenyerek.....	85
27. ábra: Az elősütött és sokkolt kenyerek sütési vesztesége.....	86
28. ábra: Az elősütött és sokkolt kenyerek fajlagos térfogata	88
29. ábra: Az egyből sült (felső sor), az 5 napig fagyasztott (középső sor), és a 11 napig fagyasztott (alsó sor) kenyerek bélzete	90
30. ábra: Az elősütött és sokkolt kenyerek keménysége	91
31. ábra: Az elősütött és sokkolt kenyerek rugalmassága	92
32. ábra: Az elősütött és sokkolt kenyerek kohéziója	93
33. ábra: Az elősütött és sokkolt kenyerek ruganyossága	94

Táblázatjegyzék

1. táblázat: A sokkolt termékekre irányuló kutatásokban alkalmazott eltérő vizsgálati módszerek	39
2. táblázat: A kutatás során felhasznált lisztek és lisztkeverékek.....	42
3. táblázat: A RVA-el mérhető paraméterek meghatározási módja, értelmezése (Balet et al., 2019).....	53
4. táblázat: A micro-DoughLAB-bal mérhető paraméterek és meghatározásuk.....	54
5. táblázat: A Mixolabbal meghatározható paraméterek és magyarázatuk (Dubat & Boinot, 2012).....	56
6. táblázat: A Mixolabbal mérhető paraméterek meghatározási módja (Dubat & Boinot, 2012)	56
7. táblázat: A TPA-val mérhető paraméterek és meghatározási módjuk (Johnson, 2015)	61
8. táblázat: A sokkolt, illetve elősütött és sokkolt pékárukra kifejlesztett termékteszt lépései	80
9. táblázat: A sokkolt kenyerek azonos napon végzett minősítésének eredményei.....	81
10. táblázat: Az elősütött és sokkolt kenyerek azonos napon végzett minősítésének eredményei	82
11. táblázat: A sokkolt kenyerek eltérő napokon végzett minősítésének eredményei.....	84
12. táblázat: Az elősütött és sokkolt kenyerek eltérő napokon végzett minősítésének eredményei	85

Köszönetnyilvánítás

Elsődlegesen szeretném megköszönni témavezetőimnek Dr. Tömösközi Sándornak és Dr. Jaksics Edinának azt a szakmai segítséget, amelyet a kutatási téma megszületésétől, a kutatási terv megalkotásán és a mérések elvégzésén át, a dolgozat elkészültéig, a teljes folyamat megvalósításában biztosítottak számomra. Nagy biztosságot adott, hogy ha bármiben elakadtam bátran fordulhattam hozzájuk tanácsért, bármilyen kérdésben készséggel álltak rendelkezésemre. Köszönöm azt a sok-sok órát, amelyet a készülő TDK dolgozatom olvasására és véleményezésére fordítottak, hiszen minden egyes ötletükkel, javaslatukkal jobbá tették azt. Nagyra értékelem, hogy a munka során mindvégig egyenrangú partnerként kezeltek.

Köszönettel tartozom Szűcsné Makay Erikának a tartalmi mérések elvégzésében nyújtott segítségéért, valamint a Gabonatudományi és Élelmiszerminőség Kutatócsoport minden tagjának, hogy első pillanattól kezdve befogadtak, ezáltal teljes értékű tagnak érezhettem magam a munkám során.

Köszönettel tartozom a Gyermelyi Zrt.-nek, a Lipóti Pékségnek és a martonvásári Agrártudományi Kutatóközpont Mezőgazdasági Intézetének, amiért rendelkezésemre bocsájtották a mintákat, illetve új laborberendezések biztosításával is támogatták a kutatásomat.

Végül szeretnék köszönetet mondani a családomnak és barátaimnak, hogy támogattak, inspiráltak, motiváltak, jobb eredmények elérésére ösztönöztek és támaszt nyújtottak a kutatás időszakában, valamint végig az egyetemi éveim alatt.

A kutatómunkám kapcsolódik a TKP2021-EGA-02 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott TKP2021- EGA pályázati program szakmai célkitűzéseinek megvalósításához.

1. Bevezetés és célkitűzések

A sokkolással készült mélyhűtött sütőipari termékek jelentősége az utóbbi években-évtizedekben, rengeteget nőtt. Egyre szélesebb körű alkalmazásának oka, az eltarthatósági-, és minőségmegőrzési idő növelése mellett a friss, készre sült termékek gyors előállításának lehetősége.

Nem megfelelő alapanyag, technológia, eljárás alkalmazása esetén, azonban a sikérszerkezet károsodhat, az élesztő vagy a kovász enzimeinek aktivitása csökkenhet, a tárolás során az amilopektin retrogradációja játszódhat le. Mindezek a frissen készült termékekhez képest kedvezőtlenebb élvezeti értékű, kisebb fajlagos térfogatú és keményebb bélzetű termékeket eredményezhetnek.

A kedvezőtlen hatások kiküszöbölésére az ipar többféle megoldást is alkalmaz, mint például adalékanyagok használata, a gyorsítás folyamatának optimalizálása, a gyártás automatizálása, ezzel a változékonyság, a termékminőség standardizálása. Ugyanakkor a lisztek, és különösen a rostdús gabonaőrlemények termékminőségre gyakorolt hatásai még csak részben feltártak.

Kutatómunkám alapvető célja volt a sokkolt termékek minőségjavítási lehetőségeinek vizsgálata eltérő siker- és élelmirost tartalmú, valamint keményítőösszetételű lisztek alkalmazásával. Vizsgálataimhoz a Gyermelyi Zrt. által biztosított sütőipari minőségű-, illetve élelmirostban gazdag búzalisztet, valamint a martonvásári Agrártudományi Kutatóközpont Mezőgazdasági Intézete által szolgáltatott magas sikértartalmú-, illetve waxy búzalisztet használtam. A minőségjavítási lehetőségek feltárásához szükséges volt a lisztek reológiai-, és viszkozus tulajdonságokra gyakorolt hatásai, valamint az elősütött sokkolt majd fagyasztva tárolt termékek minősége közötti összefüggések tanulmányozása.

Mivel egységes vizsgálati módszertan nem állt rendelkezésemre, ezért munkám első fázisának célja a reprodukálható laboratóriumi terméktesztek kifejlesztése volt. Ennek megteremtése után vált lehetségessé a különböző minőségű és összetételű alapanyagok, fagyasztási technológia nélkül előállított, illetve elősütött és sokkolt termékek minőségére gyakorolt hatásának vizsgálata és összehasonlítása.

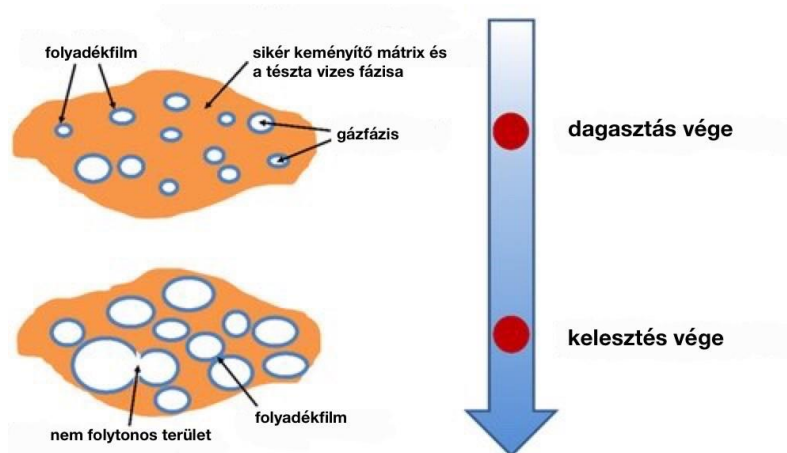
2. Irodalmi áttekintés

2.1 A kenyérfélesztés folyamatának lépései

Hagyományos kenyérfélesztés során a keverés, dagasztás, formázás, kelesztés és sütés folyamatai zajlanak le (3. ábra) (Asghar et al., 2006a; Giannou et al., 2003; Karaoglu, 2015; Rosell, 2015; Rosell & Gómez, 2007; Suchintita Das et al., 2023; Yadav D. et al., 2009).

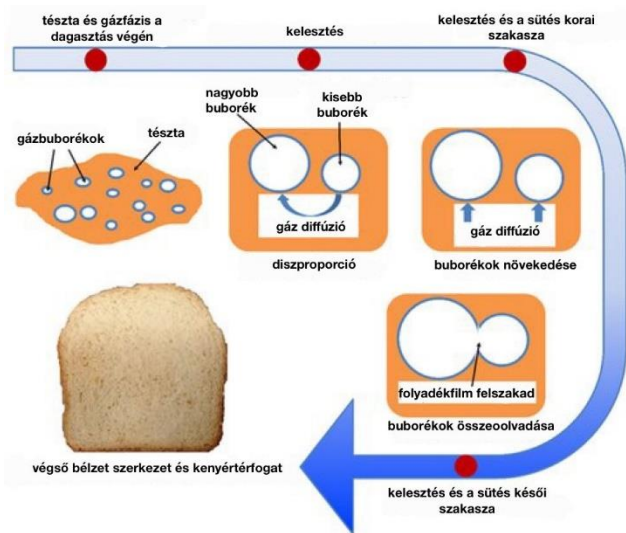
A **keverés** fő célja, hogy az összetevők kvázi homogén eleggyé álljanak össze. Nem megfelelő keverés esetén a keményítő és a fehérjék eloszlása egyenetlen. **Dagasztás** során a sikérfehérjéből víz és mechanikai behatás következtében kialakul a sikérháló. Ez a lépés a megfelelő konzisztenciájú tészta eléréséig tart. Túldagasztás esetén a sikérfehérjék diszulfidkötéseinek egy része elbomlik, tiolgyökök képződnek, és a fehérjék részben depolimerizálódnak. A túldagasztás általában ragacsos tésztát eredményez. Dagasztás után a tésztát a kívánt tömegű darabokra osztják, és a kívánt alak elérése érdekében **formázzák**. Az osztás és formázás módosítja a gázsejtek szerkezetét, mivel a kis sejtek nagyobbakká olvadnak össze. A gázsejtek módosulásával módosul a sikérszerkezet is (Autio & Laurikainen, 1997; Giannou et al., 2003; Rosell & Gómez, 2007; Suchintita Das et al., 2023; Yadav D. et al., 2009).

A **kelesztés** történelmileg hagyományosnak tekinthető módon kovász alkalmazásával történik, ugyanakkor közel egy évszázada elterjedt és meghatározóvá vált a pékélesztő használata is. A pékélesztő (*Saccharomyces cerevisiae*) sejtjei -sok más fermentációs folyamat mellett- glükózból anaerob anyagcserével szén-dioxidot állítanak elő, melyet a tészta képes visszatartani, így növekszik a térfogat (1. ábra). A gázvisszatartás annak köszönhető, hogy a létrejövő sikér-keményítő mátrix, szerkezetéből adódóan nem engedi távozni a gázokat (Giannou et al., 2003; Karaoglu, 2015; Rosell, 2015; Suchintita Das et al., 2023). A (vad)kovász liszt és víz keveréke, melyben élesztőkből és tejsavbaktériumokból álló, az alapanyagtól és az adott környezettől függő mikroflóra található. A fermentációs folyamat során tejsav is képződik, melynek hatására csökken a pH, ami a romlást okozó mikroorganizmusok szaporodásának gátlása miatt növeli a kenyér eltarthatóságát. A tejsav emellett az érzékszervi tulajdonságokra is hatással van (Islam & Islam, 2024; Minervini et al., 2011; Saikia & Sit, 2014; Suchintita Das et al., 2023).



1. ábra: A gázvisszatartás kelesztés alatt (Sun, Scanlon, et al., 2023)

A **sütés** a kenyérfőzés folyamatának utolsó lépése. A tésztában fizikai, kémiai és biokémiai változások sorozata játszódik le, amelyek magukban foglalják a kezdeti térfogatnövekedést, a víz egy részének elpárolgását, a pórusszerkezet növekedését (2. ábra), a fehérjék denaturálódását, a keményítő gélesedését, a kéregképző és barnulási reakciókat, a fehérjék keresztkötését. Ezek a változások függenek a hőmérséklettől, a páratartalomtól és a sütés időtartamától (Autio & Laurikainen, 1997; Giannou et al., 2003; Karaoglu, 2015; Rosell, 2015; Rosell & Gómez, 2007; Suchintita Das et al., 2023; Yadav D. et al., 2009).



2. ábra: A pórusméret növekedése kelesztés és sütés alatt (Sun, Scanlon, et al., 2023)

A hagyományos eljárás folyamatai a fagyasztott pékárak előállítása során a fagyasztással és kiolvasztással minden esetben bővülnek. Egyes fagyasztott pékárak esetében a fermentáció két szakaszra oszlik (fagyasztás előtti és fagyasztás utáni kelesztés), illetve elősütés is lehetséges fagyasztás előtt (3. ábra) (Asghar et al., 2006a; Giannou et al., 2003;

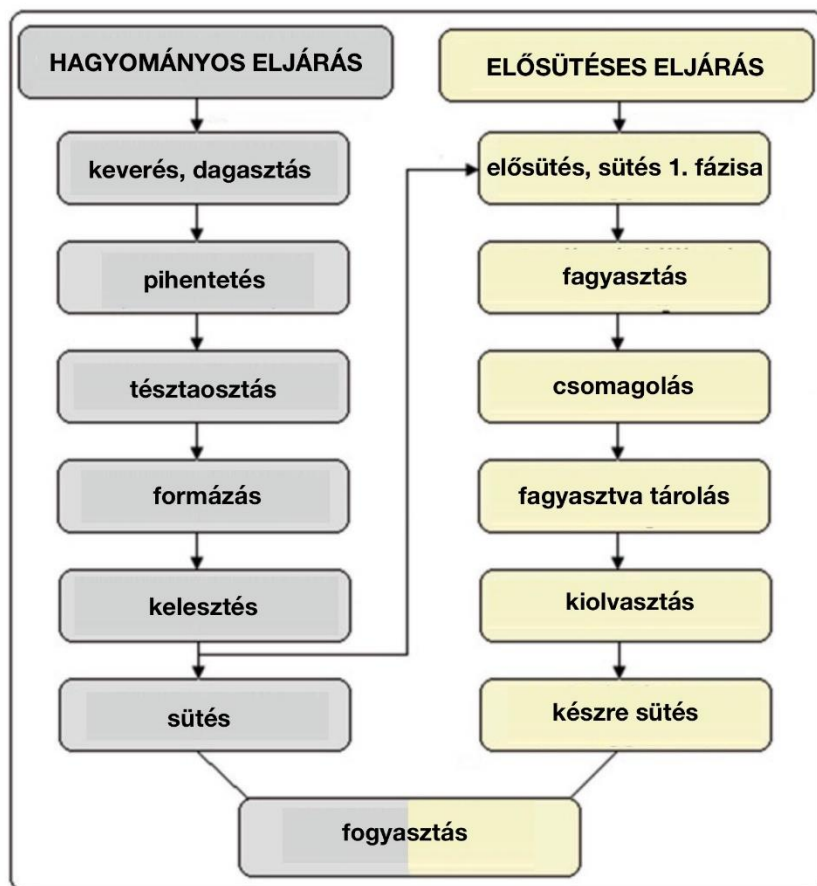
Karaoglu, 2015; Rosell, 2015; Rosell & Gómez, 2007; Suchintita Das et al., 2023; Yadav D. et al., 2009).

Elősütés opcionális lépés, nem minden típusú fagyasztott pékáru gyártási technológiájának a része. Alkalmazása esetén a sütési folyamatot közvetlenül a kéreg barnulását eredményező Maillard-reakció kezdete előtt szakítják meg. Az elősütött majd fagyasztás után elkészített pékáruk előállításának technológiája olyan szempontból nem sokban különbözik az elősütés-mentes gyártási technológiától, hogy az alapanyagok fagyasztás előtt mindkét esetben átesnek minden olyan átalakuláson, ami a tészta kialakulásához szükséges (Fik & Surówka, 2002; Karaoglu, 2015; Rosell, 2015).

A tészta 0 °C alá hűtése, vagyis a **fagyasztás** nem csupán egyből a tésztakialakulást követően, hanem rövid fermentációs időszak vagy elősütés után is végbe mehet. A fagyasztás fő célja az eltarthatósági idő meghosszabbítása, a megfelelő tartósítást meghatározó legfontosabb tényező a tárolási hőmérséklet. Minél alacsonyabb a hőmérséklet, annál kisebb a minőségromláshoz vezető mikrobiológiai és biokémiai reakciók sebessége (Giannou et al., 2003; Karaoglu, 2015; Rosell, 2015; Rosell & Gómez, 2007; Yadav D. et al., 2009).

A fagyasztott tésztát sütés előtt ki kell olvasztani. A **kiolvasztás** során a sikerfehérjék és az élesztő rehidratálódnak. A felolvasztás lejátszódhat egy adott hőmérsékleten, vagy a hőmérséklet fokozatos, apró léptékben történő emelésével. A fokozatos kiolvasztás azért kedvezőbb, mert a levegő páratartalma kondenzálódik a kenyér felületén, a keletkező folyadékcseppek a kéreg foltosodását és hólyagosodását eredményezhetik, a hőmérséklet fokozatos emelése pedig minimalizálja ezeket a hatásokat. Túl gyors felolvasztás esetén csak a tészta külső rétegei olvadnak ki, a tészta közepe viszont továbbra is fagyott állapotú marad. Ezért fontos a fagyasztási hőmérséklet és sebesség megfelelő megválasztása (Karaoglu, 2015; Kenny et al., 2001; Rosell, 2015; Rosell & Gómez, 2007; Yadav D. et al., 2009).

A sütés előtti **kelesztés** az elősütéshez hasonlóan opcionális lépés. A fagyasztott, felengedett tészták kelesztési ideje szükségszerűen hosszabb, mint a hagyományos tésztáké. Ennek oka a tészta alacsonyabb hőmérséklete, amelyen a kelesztés megkezdődik, valamint a tészta gázvisszatartó képességének és az élesztő aktivitásának a fagyasztási folyamat okozta bizonyos mértékű csökkenése. Kelesztés nem csak a sütés, hanem a fagyasztási lépés előtt is végbe mehet, ezesetben a sütés előtti fermentációs idő rövidül (Giannou et al., 2003; Karaoglu, 2015; Rosell, 2015; Suchintita Das et al., 2023).



3. ábra: A hagyományos-, illetve elősütéses kenyérfélesztés folyamatai (Karaoglu, 2015)

2.2 A kenyér összetevői, tésztakészítésben betöltött szerepük

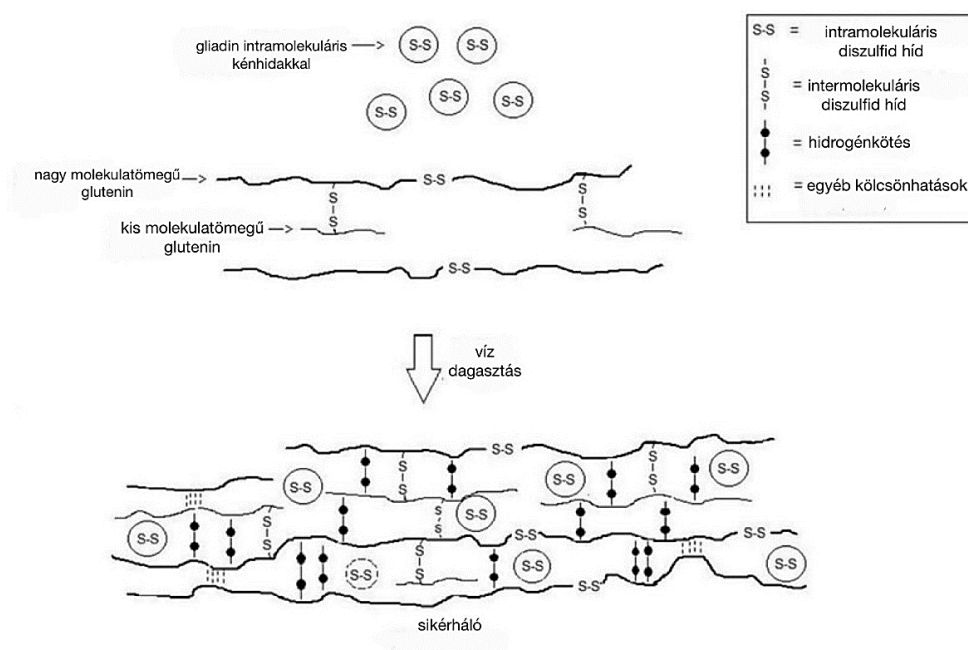
A kenyértészta legalapvetőbb összetevői a liszt, víz, só, cukor, illetve a tészta kelesztéséhez elengedhetetlen élesztőkultúra.

2.2.1 A liszt szerepe a kenyérfélesztésben

A pékáruk elkészítéséhez leggyakrabban használt liszt a fehér búzaliszt. A fehér búzaliszt összetétele táplálkozási szempontból nem tekinthető kiemelkedőnek, legnagyobb mennyiségben keményítőt, ezenkívül fehérjéket és kisebb mennyiségben rostokat és egyéb szénhidrátokat, lipideket tartalmaz (Giannou et al., 2003; Ribotta et al., 2006; Wolt & D'Appolonia, 1984; Yadav D. et al., 2009).

A kenyérsütésben legfontosabb szerepe a fehérjetartalomnak és a fehérje összetételnek, illetve a sikerminőségnek van. Osborne-frakcionálás alapján a fehérjék öt csoportját különböztetjük meg oldhatóság szerint. Az albuminok vízben, a globulinok híg sóoldatban, a prolaminok 50-80%-os etanol oldatban, a glutelinek híg savban vagy lúgban oldhatók, az ötödik

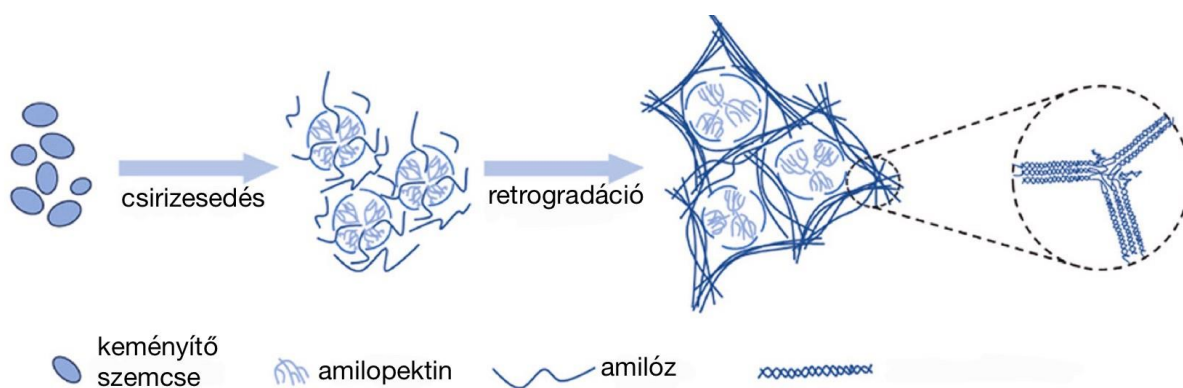
csoportba az egyik említett oldatban sem oldható fehérjék tartoznak. A sikér két különböző fehérjéből, gliadinból (prolaminok csoportja) és gluteninből (glutelinek csoportja) épül fel. Víz és fizikai munka (dagasztás) hatására a gliadinból és gluteninből kialakul a sikérháló (4. ábra). A gliadinok bizonyos csoportja (omega-gliadinok) egyáltalán nem képes diszulfidkötések kialakítására, míg az alfa-, béta-, gamma-gliadinok ugyan létrehozhatnak diszulfidhidakat, de csak a fehérjeláncon belül. Ezzel szemben a gluteninek képesek intra-, és intermolekuláris kénhidak kialakítására is. Ezen tulajdonságuk miatt a glutenin makropolimereknek kitüntetett szerepe van a sikérháló kialakításában és fenntartásában. Ez a háromdimenziós fehérjehálózat, makropolimer szerkezet felel a búzalisztból készült tészta sajátos viszkoelasztikus-, és technológiai tulajdonságaiért. Jól nyújtható és dagasztható tészta jön létre, ami a fermentáció során képződő gázokat is képes visszatartani. A gázvisszatartás hatására nő a térfogat, a tészta megkel. Ez előrevetíti, hogy a fehérjét befolyásoló folyamatok a kenyér minőségét is befolyásolják (Giannou et al., 2003; Selomulyo & Zhou, 2007; Singh & MacRitchie, 2001; Suchintita Das et al., 2023; Uthayakumaran & Wrigley, 2017; Yadav D. et al., 2009).



4. ábra: A gliadinból és gluteninből dagasztás során kialakuló sikérháló (Rosell, 2015)

A fehérjék mellett a keményítő szerepe is jelentős a kenyérfőzésben, ugyanis a hőmérséklet növelésének hatására bekövetkező szerkezetváltozás (csirizesedés, elfolyósodás, retrogradáció 5. ábra) alapvetően meghatározza a tészta viszkózus tulajdonságait, a retrogradáció folyamata miatt pedig a bélzet állományának változására – elsődlegesen a keménységre – is hatással van. Többek között a retrogradáció a felelős azért, hogy a kenyér

morzsalékossá, keményebbé válik a tárolási idő növekedésével. A dagasztás során keményítőbe ágyazott fehérje makropolimer komplex alakul ki, azaz a megfelelő téztszerkezet kialakításában is döntő szerepe van a keményítőnek. A lisztben található rostok főleg a dagasztási tulajdonságokra vannak hatással, befolyásolhatják a vízabszorpciót, a tézszakialakulási időt és a stabilitást is. Nagy vízkötő képességüknek köszönhetően jellemzően növelik a vízabszorpciót, mivel dagasztáskor versengenek a sikerfehérjékkel a rendelkezésre álló vízért, ezért a tézszakialakulási időt is általában növeli a rostok jelenléte. A sikerfehérjékkel kialakított kölcsönhatásaik miatt képesek lehetnek stabilizálni a téztszerkezetet. A dagasztási tulajdonságok mellett a keményítőtől függő viszkózus tulajdonságokra is hatással lehetnek (Almeida et al., 2013; Cui et al., 2013; Gómez et al., 2003 (Brennan & Cleary, 2007; Harasztos et al., 2016; Lazaridou & Biliaderis, 2007; Yan et al., 2021, 2022).



5. ábra: A keményítő szerkezetének változása (Jiang et al., 2024)

2.2.2 A víz szerepe a kenyérfőzésben

A víz elengedhetetlen összetevő a tészta kialakulásához, hiszen a tészta keverési, dagasztási folyamatai során a hozzáadott víz egy részét felveszik a liszt összetevői, például a sikerfehérjék, a keményítő és a rostok. A sikerháló kialakulásához is alapvetően fontos a megfelelő mennyiségű víz jelenléte. A tésztában lévő szabad víz szerepe a só és cukor feloldása, az élesztősejtek tápanyagfelvételéhez szükséges közeg biztosítása. Emellett alapvetően befolyásolja a tészta reológiai tulajdonságait, így elengedhetetlen, hogy megfelelő mennyiségben kerüljön a tésztába. A szükséges víz mennyiségét a liszt vízabszorpciója határozza meg (Asghar et al., 2006a; Giannou et al., 2003; Ribotta et al., 2006; Yadav D. et al., 2009).

2.2.3 Az élesztő és a kovász szerepe a kenyérkészítésben

A kenyérsütéshez leggyakrabban egyszerű pékélesztőt, azaz *Saccharomyces cerevisiae* kultúrát használnak. Ezen élesztősejtek egyszerű cukrokat (glükózt, fruktózt, szacharózt és maltózt) metabolizálnak. Anyagcseréjük során nagy mennyiségben keletkezik szén-dioxid, melyet a síkérhálónak köszönhetően a tészta vissza tud tartani, így nő a tészta térfogata. Az élesztő mennyisége a tésztában alapvetően meghatározza a gázképződés mértékét és ezzel együtt a tészta fajlagos térfogatára is hatással bír. Az erjedési folyamat során a szén-dioxid mellett egyéb kismolekulás szerves aromakomponensek is képződhetnek, melyek ízesíthetik a tésztát. A használt élesztő mennyisége körülbelül 3% a liszt mennyiségére vonatkoztatva, de a pontos mennyiség többek között függ a kelesztési időtől és a kelesztés során alkalmazott hőmérséklettől (Asghar et al., 2006a; Autio & Laurikainen, 1997; Giannou et al., 2003; Magalhães et al., 2021; Ribotta et al., 2006).

A kelesztés egyszerű pékélesztő helyett (vagy mellett) történhet kovász alkalmazásával is. A kovász liszt és víz keveréke, melyben élesztőkből és tejsavbaktériumokból álló mikroflóra található. A tejsavbaktériumok anyagcseretermékei révén csökken a pH, a savas közeg pedig számos, az élelmiszer romlását okozó mikroorganizmus szaporodását gátolja, ezzel növelve a kenyér eltarthatóságát. A képződő tejsav az érzékszervi tulajdonságokra is hatással van, a kovászosítás jellegzetes ízt kölcsönöz a végterméknek (Islam & Islam, 2024; Minervini et al., 2011; Saikia & Sit, 2014; Suchintita Das et al., 2023). Az érzékszervi tulajdonságok mellett a kovászosítás a kenyér egyéb jellemzőire is hatással lehet. Térfogatra kifejtett hatása komplex, ugyanis a savtermelés a síkérfehérjék depolimerizációját, és a síkérháló gyengülését is előidézheti, ami csökkent gázvisszatartó képességhez vezet. Ezzel ellentétben viszont, a fermentáció során képződő exopoliszacharidok növelhetik a gázvisszatartó képességet, mivel kötéseket alakíthatnak ki a lisztben található fehérjékkel, ezáltal javítva a tésztaszerkezetet (Islam & Islam, 2024; Verdonck et al., 2023; B. Zhang et al., 2021).

2.2.4 A só szerepe a kenyérkészítésben

A pékáruk elkészítéséhez általában hagyományos konyhasót használnak, a liszt mennyiségének átlagosan 1,5-2%-át. A tésztában lévő kis mennyiségű só javítja a tészta ízét, az ízesítés mellett azonban közvetetten számos technológiai tulajdonságra is hatással van. Többek között stabilizálja a síkérhálót és gátolja a proteázokat, melyek a fehérjék depolimerizálásával károsítanák a makromolekula szerkezetét, elősegíti az amilázok működését, mindemellett hatással van az erjedésre is. Minél magasabb a sókoncentráció, annál

alacsonyabb az erjedés mértéke azonos élesztőszint mellett, mivel a só lassítja az élesztő szén-dioxid termelését. Só hozzáadása nélkül ragacsos és nehezen kezelhető tészta keletkezne (Asghar et al., 2006a; Giannou et al., 2003; Yadav D. et al., 2009).

2.2.5 A cukor szerepe a kenyérkészítésben

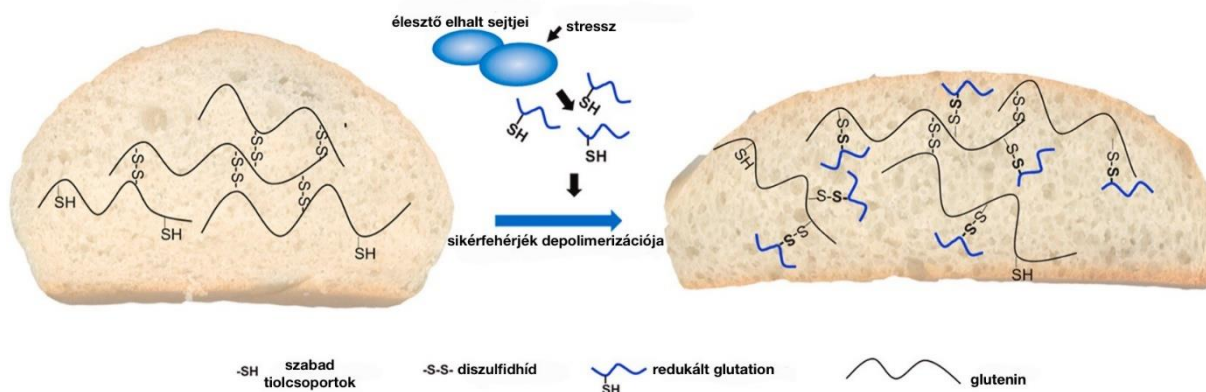
A sütőiparban a leggyakoribb édesítőszer a szacharóz, bár a barna cukrot, a dextrózt, a malátacukrot, a melaszt, a kukoricaszirupot és az invertcukrot is gyakran használják a pékárukban. A különböző cukroknak eltérő az édesítő hatása, ezáltal az alkalmazott cukor minősége attól is függ, hogy sós vagy édes tészta készül. Cukrot elsősorban az élesztősejtek táplálása céljából adnak a tésztához, melyből a katabolizmus során a térfogatnöveléshez szükséges szén-dioxidot termeli a mikroorganizmus. Mivel a cukor az alapvető energiaforrás, amelyet az élesztő a tészta fermentációja során hasznosít (szén-dioxiddá alakít), ezért elengedhetetlen a megfelelő mennyiség alkalmazása, ami általában a liszt tömegének 3-6%-a. Emellett a cukornak alapvető szerepe van a tészta ízesítésében és a kéreg színének kialakításában is (Asghar et al., 2006a; Giannou et al., 2003; Sahlström et al., 2004).

2.3 A fagyasztás téztszerkezetre gyakorolt kedvezőtlen hatásai és a hatások kiváltó okai

A fagyasztás, illetve fagyasztva tárolás növeli a tészta eltarthatósági idejét, ugyanakkor közvetlen negatív hatással van a téztszerkezetre, befolyásolja a sikérszerkezetet, a keményítő retrogradációját és az élesztő életképességét is. A téztszerkezetben bekövetkező változások miatt a fagyasztás közvetetten befolyásol számos technológiai paramétert, illetve a végtermék minőségét is. A minőségromló hatás mértéke többek között függ a fagyasztási sebességtől, a fagyasztva tárolás időtartamától, valamint a kiolvasztási sebességtől is. A minőségromlás a fagyasztás és fagyasztva tárolás első heteiben a legintenzívebb. Ez annak a termikus sokknak tulajdonítható, amelynek a sikérháló és az élesztősejtek ki vannak téve, amint a tésztákat fagyponthoz alatti hőmérséklet éri. (Giannou & Tzia, 2007; Ribotta et al., 2006; Rosell et al., 2009; Selomulyo & Zhou, 2007; Yang et al., 2021; Yi & Kerr, 2009; H. Zhang et al., 2024).

A kenyér **fajlagos térfogata** azért fontos minőségi paraméter, mivel jelzi a tészta gázvisszatartó képességét és a bélzet tömörségét. Általában létezik egy ideális arány a tészta tömege és a végtermék fajlagos térfogata között, amely esetén a legjobb textúra érhető el. A kenyér fajlagos térfogatának gyors csökkenése sokkolt, valamint elősütött és sokkolt termékek esetén egyaránt a fagyasztva tárolás első heteiben figyelhető meg. Ezután a térfogatváltozás mértéke jelentősen csökken, a fajlagos térfogat közel állandó értékre áll be (Giannou & Tzia,

2007; Qian et al., 2022; Rosell et al., 2009; Rosell & Santos, 2010; H. Zhang et al., 2024). A fajlagos térfogat csökkenésének egyik oka, hogy a fagyasztás kedvezőtlenül befolyásolhatja az élesztősejtek aktivitását és életképességét, ez többek között a sejteken belüli vizes közeg megszilárdulásának és a megnövekedett sejten belüli oldott anyag koncentrációnak tulajdonítható, amely olyan hatásokhoz vezethet, mint a dehidratáció, alacsony pH a sejten belül, az alapvető membránfolyamatok károsodása, a citoszkeleton elemeinek károsodása és a glikolitikus enzimek aktivitásának csökkenése (Giannou et al., 2003; Magalhães et al., 2021; Rosell & Gómez, 2007; Selomulyo & Zhou, 2007). A fajlagos térfogat csökkenésének másik oka a sikerháló károsodása. A fagyasztás során képződő jégkristályok hatására a fehérjehálózatban csökken a keresztkötések száma, valamint a képződő jégkristályok és a víz újra eloszlása miatt a gluténszerkezet olyan mértékben megbomlik, hogy a sikerhálózat már nem kapcsolódik a keményítőszemcsékhez. Továbbá az elhalt élesztő sejtekből fagyasztás során felszabaduló redukáló anyagok (például glutation) bontják a sikerfehérjék közti diszulfid hidakat (6. ábra), melyek nélkülözhetetlenek a sikerháló stabilizálásában (Giannou et al., 2003; Rosell & Gómez, 2007; Selomulyo & Zhou, 2007; H. Zhang et al., 2024). A diszulfid hidak bomlása mellett a sikerfehérjék depolimerizációja is hozzájárul a fehérjehálózat gyengüléséhez. A fagyasztott, majd kiolvasztott tésztákban megnő a kisebb molekulatömegű oligomerek mennyisége, ami glutenin depolimerizációjának tulajdonítható (Qian et al., 2022; Ribotta et al., 2001; Selomulyo & Zhou, 2007; Yang et al., 2021; H. Zhang et al., 2024). Ribotta és munkatársai fagyasztott tésztából kinyert SDS-oldható fehérjeaggregátumokat vetettek alá elektroforézises vizsgálatnak. Méréseik kimutatták a glutenin alegységek mennyiségének csökkenését, ami igazolja, hogy a kenyér fehérjemátrixa a fagyasztva tárolás időtartama alatt depolimerizáción megy keresztül (Ribotta et al., 2001).



6. ábra: A sikérfehérjék depolimerizációja redukált glutation hatására (L. Guo et al., 2020)

A fagyasztás és fagyasztva tárolás közvetlen hatással van a **bélzetkeménység** mértékére sokkolt, illetve elősütött és sokkolt termékekben egyaránt. A keménység az élelmiszer összenyomásához szükséges erővel összefüggő paraméter, melynek mértéke a fagyasztva tárolás idejének növelésével a készre sütés után nő (Bae et al., 2014; Bárcenas & Rosell, 2007; Rosell et al., 2009; Rosell & Santos, 2010; Selomulyo & Zhou, 2007). A növekedés mértéke a tárolás első heteiben jelentős, majd a keménység értéke stabillá válik. A keménység növekedését fagyasztva tárolás során összetett folyamatok okozzák. Egyidejűleg bekövetkezik az amilopektin retrogradációja, az amilóz átkristályosodása, nedvességtartalom veszteség, illetve a víz újra eloszlása is (Bárcenas & Rosell, 2007; Giannou & Tzia, 2007; Rosell et al., 2009; Selomulyo & Zhou, 2007). Keményítő retrogradációja alatt az a folyamatot értjük, amely során a csirizesedett keményítőben rendezetlen szerkezetet felvevő amilóz- és amilopektinláncok újra rendeződnek, rendezettebb szerkezetet alakítanak ki (Huang et al., 2022; Karim, 2000; Punia et al., 2020; H. Zhang et al., 2024). Bárcenas és munkatársainak elősütött kenyerekkel végzett kutatása igazolta, hogy fagyasztva tárolás során az amilopektinben szerkezeti változások mennek végbe. Fagyasztás után újra sült kenyerek esetében a retrogradáció hőmérséklettartományának fokozatos növekedése figyelhető meg a fagyasztva tárolási idő növelésével. A bélzetszerkezet öregedésének vizsgálatakor a retrogradáció kezdőhőmérsékletének szignifikáns csökkenése mutatható ki a fagyasztva tárolás időtartamának növekedésével. Mivel a retrogradáció csúcs- és záróhőmérsékletét alig befolyásolja a fagyasztva tárolás ideje, így a retrogradációs hőmérséklettartomány a fagyasztva tárolás idejének növelésével jelentősen nő. Emellett nő az amilopektin olvadásához szükséges befektetett energia mennyisége is (Bárcenas et al., 2003). Fagyasztás hatására a keményítő molekuláinak egy része sérül. A nagymértékű keményítősérülés több összetevőre is hat, ugyanis képes elvonni a vizet a sikérfehérjéktől. A térszervezők módosulása miatt változik egyes makromolekulák affinitása a vízhez, nő a szabad víz mennyisége, vagyis lejátszódik a víz újra

eloszlása a tésztában. Ezt alátámasztja az a felfedezés, miszerint a tésztában lévő szabad – sikerhez nem kötődő – víz mennyisége nő a fagyasztva tárolási idő növekedésével (Ma et al., 2016; Ribotta & Le Bail, 2007; Selomulyo & Zhou, 2007; H. Zhang et al., 2024).

Elősütött és sokkolt kenyerek esetén gyakran jelentkezik a **kéregleválás** jelensége. A kéregleválást az okozza, hogy a fagyasztás során létrejövő jégkristályok fagyási frontot hoznak létre a kéreg és a bélzet határán, valamint az eltérő felületek érintkezése miatt, a kéreg és a bélzet határfelületén feszültségkülönbség alakul ki (Le Bail et al., 2005; Lucas et al., 2005; Ribotta & Le Bail, 2007; Rosell & Gómez, 2007).

A fagyasztási-olvasztási ciklusok ismétlésének hatására bekövetkezhet a **tésztasziruposodás** jelensége is. Ez azt jelenti, hogy az ismételt fagyasztás, majd kiolvasztás, növeli a fagyasztott tésztából az olvasztás során felszabaduló víz mennyiségét. A távozó folyadék mennyiségének növekedésével romlik a végtermék minősége. A jelenséget az okozhatja, hogy a xilanáz enzimek, bontják a sejtfal egyik poliszacharid komponensét, az arabinoxilánt, ennek hatására a rost vízkötő képessége romlik, a tésztából több víz távozik a kiolvasztás során (Gys et al., 2003, 2004; Selomulyo & Zhou, 2007).

2.4 Az alapanyagminőség hatása a fagyasztott termékekre

A sikérszerkezet károsodása, gyengülése miatt a fagyasztott tésztákhoz használt lisztekben elengedhetetlen a **magas fehérjetartalom**. Magasabb fehérjetartalmú, jobb sikerminőségű liszt alkalmazásával erősebb sikérszerkezet, jobb gázvisszatartó képesség és nagyobb fajlagos térfogat érhető el (Asghar et al., 2006a; Giannou & Tzia, 2016; Qian et al., 2022; Ribotta et al., 2006). A fagyasztott termékekhez használt liszt ideális fehérjetartalma tekintetében nem teljesen egységes a szakirodalom. Ajánlott a 11-14%-os fehérjetartalmú búzaliszt használata (Asghar et al., 2006a), azonban egyes szakirodalmak szerint a 11% nem elégséges, 12,5% feletti fehérjetartalom is szükséges, emellett a nedvessikér mennyiségének is 30% felett kell lennie (Ribotta et al., 2006). Azokat a liszteket, melyek a szükségesnél alacsonyabb mennyiségű fehérjét tartalmaznak javíthatóak glutén hozzáadásával. Giannou és munkatársai 2-, 4-, 5-, és 6%-os glutén adagolásának hatását vizsgálták a fehér-, illetve teljes kiőrlésű búzalisztból készült sokkolt (nem elősütött) kenyerek minőségére. Eredményeik alapján fehér lisztnél a 4-, és 6%-os, teljes kiőrlésű lisztnél pedig a 4-, és 5%-os gluténadagolás esetén voltak a minták a legellenállóbbak a fagyasztással szemben (Giannou & Tzia, 2016). Qian és munkatársai 0-1,5% közötti (0,5%-os különbségekkel) gluténadagolást, valamint különböző glutenin:gliadin arányokat vizsgáltak (1:1, 1:2, 2:1) sokkolt (nem elősütött) kenyerekben.

Eredményeik alapján az 1%-os gluténadagolás, 1:1 glutenin gliadin arány mellett a legideálisabb fagyasztott kenyerek készítéséhez (Qian et al., 2022).

A **keményítő** három csoportra - nagyobb szemcseméretű A-típusú (23-28 μm), kisebb szemcseméretű B-típusú (2-11 μm) és a legkisebb C-típusú ($< 2 \mu\text{m}$) – osztható (Ai & Jane, 2016; Feng et al., 2020; H. Zhang et al., 2024). A B-típusú keményítő amilopektin-, fehérje-, és lipidtartalma magasabb, mint az A típusú keményítőé. Az A-típusú keményítő amilózban gazdagabb, általában kristályos szerkezetű. A B-típusú keményítő az A-típusúhoz képest nagyobb befolyással van a síkérháló szerkezetére, és károsodása nagyobb változásokat okoz a fagyasztott tészta tulajdonságaiban. Azonos körülmények között a B-típusú keményítő sérülékenyebb, érzékenyebb a fagyasztva tárolásra, míg az A-típusú keményítő rendezettebb szerkezetének köszönhetően kevésbé érzékeny. Az A-típusú keményítő nagyobb aránya a B-típusúhoz képest előnyös a fagyasztott tészta stabilitásának és textúrájának javítása szempontjából (Feng et al., 2020; H. Zhang et al., 2024).

Örlés során a keményítő molekulák egy része sérül a mechanikai hatások miatt. A sérült keményítő (DS) mennyisége saját súlya kétszeresének megfelelő vizet képes megkötni, ezzel alapvetően befolyásolva számos technológiai-, és minőségi paramétert (Ma et al., 2016; Ribotta et al., 2006). Ma és munkatársainak kutatási eredményei alapján, az elősütés nélkül fagyasztott tésztában jelenlévő sérült keményítő szignifikánsan növeli a vízfelvétel értékét, hatással van a tésztakialakulási időre (szignifikáns növekedés 21,9 %-os DS tartalom felett, ez alatt nagyjából azonos értékek), az ellágyulás mértékére (enyhe növekvő tendencia a DS értékének növekedésével) és az esésszámra is (szignifikáns csökkenés a DS mennyiségének növekedésével). A megfelelő DS-tartalom (12,2 - 21,9%) javíthatja a fagyasztott tészta és a kenyér minőségét, mivel nagyobb fajlagos térfogatot és kisebb bélzet keménységet kölcsönöz a végterméknek (Ma et al., 2016). Egyes szakirodalmak ettől eltérő adagolási arányt javasolnak. A sérült keményítő bizonyos adagolás feletti, tésztaszerkezetre gyakorolt negatív hatása miatt nem célszerű, ha mennyisége meghaladja a 7%-ot, ugyanis rontja a végtermék minőségét (Ribotta et al., 2006).

A búzakeményítőben átlagosan 70-80% az amilopektin mennyisége és 20-30% az amilóztartalom. Waxy búza és az ebből előállított lisztek (WWF) esetén az amilóz aránya 5% alatti a keményítőben. A hagyományostól eltérő amilóz/amilopektin arány a pékárak minőségére is hatással van (Garimella Purna et al., 2015; Van Hung et al., 2006; Yi et al., 2009). Yi és munkatársainak kutatása waxy liszt 15-, 30-, és 45%-os adagolásának hatását vizsgálta az elősütés nélküli sokkolással előállított kenyerek minőségére. Eredményeik alapján a magasabb

(45%) WWF tartalom puhább bélzetet eredményez, és a 15-, valamint 30%-os adagoláshoz képest jobban késlelteti a kenyér kiszáradását/szikkadását a fagyasztva tárolási idő előrehaladtával. A 15%-os WWF tartalom eredményezi a legnagyobb térfogatot (a három adagolás közül) a fagyasztva tárolás teljes időtartama alatt, és a WWF nélküli kenyérhez képest a kenyér kiszáradása is később indul meg. Fagyasztott kenyerekhez 15%-os WWF adagolást a legcélszerűbb alkalmazni (Yi et al., 2009).

A fagyasztási és felolvasztási ciklusok során az élesztő érzékeny a tésztában lévő szabad víz mennyiségére, ezért az elősütés nélkül fagyasztott termékek elkészítéséhez célszerű **alacsonyabb vízabszorpció** értékkel rendelkező lisztet használni. A vízfelvétel mértékét a liszt típusa, összetétele, minősége szabályozza, ezért kulcsfontosságú a lisztben a keményítő, a fehérje és rostos komponensek megfelelő mennyisége. Kevesebb víz adagolása esetén a csökkentett víztartalom korlátozhatja a jégkristályok kialakulását és csökkentheti annak negatív hatását a sikérszerkezetre, ezáltal a gázvisszatartásra, valamint az élesztő életképességére és az ezzel összefüggésben lévő termelt szén-dioxid mennyiségére. A víz mennyiségét csak annak figyelembevételével lehet csökkenteni, hogy a tészta konzisztenciájának is megfelelőnek kell lennie (Asghar et al., 2006a; Giannou et al., 2003; Magalhães et al., 2021; Ruska & Timar, 2010).

A *Saccharomyces cerevisiae* különböző törzsei, alfajai eltérő mértékben érzékenyek a fagyasztás káros hatásaira. Ennek oka valószínűleg az alfajok eltérő citoplazma-összetétele, növekedési fázisa és szaporodási sebessége lehet (Magalhães et al., 2021; Rosell & Gómez, 2007; Stecchini et al., 2002). **Fagyasztástűrő élesztő** alkalmazásával javítható az elősütés nélkül sokkolt tésztából készült végtermék minősége, kompenzálható a fagyasztási károk mértéke. Manapság ebből a célból a *Saccharomyces fructuum*-ot, a *Torulaspora delbrueckii*-t, *Saccharomyces eubayanus*-t, *Saccharomyces jurei*-t, *Saccharomyces arboricola*-t, illetve a génmódosított, ezáltal jobb fagyasztástűrő képességgel rendelkező *Saccharomyces cerevisiae*-t alkalmaznak. (Magalhães et al., 2021; Rosell & Gómez, 2007). Az aktivitáscsökkenés kiküszöbölésére a fagyasztástűrő élesztő alkalmazása mellett a magasabb élesztőtartalom (a lisztmennyiség körülbelül 3%-a helyett 4%-6%) is célravezető. A túl magas élesztőtartalom alkalmazása azonban nem célszerű, hiszen káros hatással lehet a pékárak ízére (Asghar et al., 2006a; Rosell & Gómez, 2007).

Kovács alkalmazásakor a kelesztés során exopoliszacharidok képződnek, amik a vízkötő képesség fokozása révén csökkenthetik fagyasztva tárolás során a víz újra eloszlásának,

illetve a nedvességtartalom veszteségének a mértékét is (B. Zhang et al., 2021). Az elősütés nélkül sokkolt kenyerek minőségére gyakorolt hatások tekintetében változatos a szakirodalom. Egyes kutatások szerint kovász alkalmazásával a fagyasztott tészta szerkezete jobban ellenáll a fagyasztás káros hatásainak, nagyobb térfogat érhető el, késleltető a kenyér szikkadása, valamint a keménység mértékének növekedése (Saikia & Sit, 2014; B. Zhang et al., 2021). Más kutatási eredmények alapján viszont a kovász használata a fagyasztott tésztában önmagában (adalékanyagok, vagy krioprotektánsok nélkül) nem elegendő a fagyasztás keménységre és fajlagos térfogatra gyakorolt negatív hatásainak ellensúlyozására (Minervini et al., 2011).

2.5 A fagyasztás kedvezőtlen hatásainak kiküszöbölése az előállítási lépések optimalizálásával

A fagyasztás kedvezőtlen hatásainak mérsékléséhez és a végtermék minél magasabb minőségének eléréséhez elengedhetetlen az előállítás lépéseinek minél optimálisabb megvalósítása, beleértve a fagyasztás sebességét, hőmérsékletét, az elősütés és a fermentáció idejét is.

2.5.1 Az optimális fagyasztás előtti fermentációs idő jelentősége

A fagyasztás előtti fermentációs idő befolyásolja a sütés előtt szükséges fermentációs idő hosszát, valamint a végtermék minőségét. Németh és munkatársainak (1996) kutatása a fagyasztás előtti fermentációs idő 0 és 3 óra közötti változtatásának hatásait vizsgálta elősütés nélkül készült fagyasztott kenyerek minőségére. A hosszabb fagyasztás előtti fermentációs idővel (2-3 óra) rendelkező tészták több hetes tárolása után a kenyerek térfogata és a pontozásos minősítés során kapott összpontszámuk is szignifikáns csökkenést mutatott. Ezzel szemben a rövidebb (0-1 óra) fagyasztás előtti fermentációs idő esetén sokkal kevésbé volt észlelhető a változás. Eredményeik alapján tehát a hosszabb fagyasztás előtti fermentációs idő rontja a kenyér minőségét (Nemeth et al., 1996). Ezt az eredményt Ruska és munkatársainak kutatása is megerősíti. A fagyasztás előtti fermentációs időt 0-1 óra között érdemes tartani, ugyanis 2-3 órás kelesztés esetén a térfogat szignifikánsan csökken 8 hét fagyasztva tárolás után (Ruska & Timar, 2010).

2.5.2 Az optimális elősütési idő

Az elősütés, vagy részleges sütés opcionális lépés, nem minden esetben alkalmazzák fagyasztott pékáruk előállításánál. Amennyiben az elősütés is része a technológiai folyamatnak, akkor elengedhetetlen a megfelelő időtartam megválasztása. Az elősütés lényege, hogy a sütés folyamatát a Maillard-reakció előtt megszakítják, a kenyértésztát csak a tészta

szerkezetének rögzüléséig sütik. A folyamat eredménye, hogy az elősütés után fagyasztott kenyér bélzetszerkezete a készre sütés után, tulajdonképpen a frissen sült kenyérével megegyező (Karaoglu, 2015; Rosell, 2015; Rosell & Gómez, 2007). Fik és munkatársainak (2022) kutatási eredménye alapján a készre sütés után fagyasztott, valamint az elősütés után fagyasztott kenyerek textúraprofiljában jelentős eltérés tapasztalható. Az eltérés elsősorban a keménység csökkenésében mutatkozott meg az elősütési idő csökkenő hányadával. Továbbá a rugalmasság, ruganyosság, a kohézió és az érzékszervi paraméterek is változnak. Az elősütött kenyerek jobb érzékszervi tulajdonságai valószínűsíthetően annak köszönhetők, hogy ezen tulajdonságok a Maillard-reakció eredményeként javulnak az újasütés során. Mérési eredményeik és további statisztikai elemzések alapján a kenyér optimális elősütési ideje a teljes sütéshez szükséges idő 74-86%-a közötti tartományban mozog (Fik & Surówka, 2002). Rosell és munkatársai (2009) teljes kiőrlésű kenyereken vizsgálták a különböző kenyérfeldolgozási eljárásoknak (hagyományos, fagyasztott, elősütött és fagyasztott) a végtermék minőségére gyakorolt hatását. A kutatásuk során alkalmazott elősütési idő a teljes sütési idő 2/3-át tette ki. Eredményeik alapján a hagyományos, illetve a fagyasztott tésztából készült kenyerekhez képest az elősütött kenyerek fajlagos térfogata jelentősen kisebb, nedvességtartalma viszont jelentősen magasabb, bélzete pedig puhább (Rosell et al., 2009).

2.5.3 A megfelelő fagyasztási sebesség és hőmérséklet jelentősége

A fagyasztott tészta minőségét és állagát a fagyasztási folyamat során képződő jégkristályok méretének minimalizálásával és az élesztő aktivitásának minél kisebb csökkenésével lehet javítani. Lassú fagyasztáskor kevesebb nagyobb méretű jégkristály képződik, míg gyors fagyasztáskor viszonylag sok apró jégkristály jön létre. A gyors fagyasztás tehát a víz egyenletesebb kristályosodását eredményezi, valamint kíméletesebb a síkérhálózattal szemben, ezáltal kevésbé károsítja a tészta reológiai tulajdonságait, jobb minőségű fagyasztott tésztához vezet. A lassú fagyasztás ugyanakkor jobban megőrzi az élesztősejtek aktivitását, a gyors fagyasztással, sokkolással szemben. A tészta fagyasztási sebességét úgy kell megválasztani, hogy az élesztő aktivitását is a lehető legjobban megőrizzük, de a fagyasztás elég gyors legyen ahhoz, hogy olyan apró jégkristályok képződjenek, ami a tésztaszerkezetet a lehető legkisebb mértékben károsítja (Meziani et al., 2012; Yadav D. et al., 2009; Yang et al., 2021; Yi & Kerr, 2009).

A fagyasztási hőmérséklet hatással van a bélzet keménységére, a gázbuborékok számára és méretére is. Meziani és munkatársainak (2012) kutatási eredményei alapján a gázbuborékok számára és méretére eltérő hatással van a fagyasztási hőmérséklet az elősütés nélkül sokkolt

tésztákban. A hőmérséklet csökkentése növeli a gázbuborékok számát, ugyanakkor a csökkenti a buborékok átmérőjének átlagos méretét. Az alacsonyabb fagyasztási hőmérséklet továbbá növeli a bélzet keménységét. -20, -30, valamint -40 °C-os fagyasztást alkalmazva a késztermékek bélzete egyre keményebb a frissen sütött termékekéhez képest (Meziani et al., 2012). Ennek ellent mond Yang és munkatársainak (2021) elősütés nélkül sokkolt kenyereken végzett méréseinek eredménye, miszerint -40 °C-os fagyasztás esetén szignifikánsan kisebb a bélzet keménysége a -20 °C-on történő fagyasztáshoz képest. Kutatásuk során a -40 °C-os (0,149 °C/min fagyasztási sebesség) fagyasztás eredményezte a legjobb minőségű végterméket (Yang et al., 2021). Yi és munkatársainak eredményei (2009) alapján a -30, -35 °C-on tárolt minták sikérszerkezete kevésbé károsodik, ugyanakkor -20 °C-os tárolás esetén az élesztő jobban megőrzi életképességét. Eredményeik alapján a 19-41 °C/h fagyasztási sebesség és a -15, -20 °C-on történő tárolás a legoptimálisabb (Yi & Kerr, 2009).

2.6 Adalékanyagok alkalmazása a fagyasztás káros hatásainak mérséklése céljából

A megfelelő minőségű összetevők, illetve a technológia lépéseinek optimalizálása is elősegíti a fagyasztott tésztából nyert végtermék minőségének javulását, azonban adalékanyagok alkalmazásával még jobb minőségű termékek állíthatók elő. Számos kutatás irányult és fókuszál jelenleg is a hidrokolloidok, emulgeálószerrek és egyéb adalékanyagok (aszorbinsav, lipidek) tésztastruktúrára és a végtermék minőségére gyakorolt hatásával.

2.6.1 Hidrokolloidok alkalmazásának hatásai

A hidrokolloidok természetes hidrofil karakterű polimerek, poliszacharidok. Ezek az anyagok nagy vízkötő képességgel rendelkeznek, így a tésztához adagolva alapvető hatással vannak a szabadon hozzáférhető víz mennyiségére, a vízmegtartó képességre, valamint a víz eloszlására is. A hidrokolloidokat az élelmiszeripar emulziók, szuszpenziók és habok stabilizálására használja, mert képesek a vízbázisú rendszerek reológiájának és textúrájának szabályozására (Kohajdová & Karovičová, 2009; Rosell & Gómez, 2007; Selomulyo & Zhou, 2007; Sharadanant & Khan, 2003).

A **karboxi-metil-cellulóz (CMC)** olyan cellulózszármazék, melyben a cellulóz lánc gerincét alkotó glükóz monomerek bizonyos hidroxilcsoportjaihoz metilén-, és karboxilcsoportok kapcsolódnak. A CMC vízben jól oldódó poliszacharid, amit az élelmiszeripar elsősorban a viszkozitás szabályozására használ. A CMC optimális mennyisége 3-4 tömegszázalék körüli érték (Kohajdová & Karovičová, 2009; Selomulyo & Zhou, 2007; Su et al., 2023). A **hidroxipropil-metilcellulózban (HPMC)** a cellulóz hidroxilcsoportjai metil-

és hidroxipropil-csoportokkal éteresítettek, ami növeli a cellulóz vízdékonyságát, ugyanakkor megmarad az affinitása az apoláris fázisokhoz is. Ebből kifolyólag egy olyan többfázisú rendszerben, mint a kenyértészta, az egyszerre jelenlévő hidofil és hidrofób karakter lehetővé teszi az emulzió stabilitásának megőrzését. A liszt mennyiségére vonatkoztatott 0,5-2%-os adagolás a legjellemzőbb (Bárcenas & Rosell, 2005, 2007; Kohajdová & Karovičová, 2009; Rosell et al., 2001; Selomulyo & Zhou, 2007; Xuan et al., 2017). A **gumiarábikum** az akácfa által termelt heterogén anyag, amely nagyjából 70%-ban poliszacharidból, 30%-ban fehérjéből áll, jól oldódik vízben, vizes oldata savas kémhatású. A gumiarábikum alkalmazása, hatással van a reológiai tulajdonságokra, csökkenti a vízabszorpció értékét, emellett növeli a térszaktialakulási időt és az ellágyulás mértékét. Sütőipari felhasználása azért gyakori, mert az egyből készre sütött kenyerek esetén nagyobb térfogat, illetve porózusabb, levegősebb bélzet nyerhető. Az 1-3% közötti adagolás a legjellemzőbb (Eskin, 2019; Hussain et al., 2022; Selomulyo & Zhou, 2007; Sharadanant & Khan, 2003). A **κ-karragén** egy vörösmoszatok által termelt kéntartalmú (szulfátos) poliszacharid, amely ismétlődő galaktóz és 3,6-anhidrogalaktoz egységeket tartalmaz, szulfátos és nem szulfátos formában egyaránt. Pékáruk esetén a karragének 0,01-0,1%-os adagolása jellemző, azonban 1-3%-os arány is fellelhető a κ-karragén hatását vizsgáló kutatásokban (Kohajdová & Karovičová, 2009; Selomulyo & Zhou, 2007; Sharadanant & Khan, 2003).

2.6.1.1 A hidrokolloidok hatásainak összehasonlítása

A hidrokolloidoknak a közel azonos szerkezetükből fakadóan hatásuk is nagyon hasonló. A hidrokolloidokat általánosságban a fajlagos térfogat növelése céljából alkalmazzák, mind az egyből, mind pedig a fagyasztás után készre sütött kenyerek esetében. A fajlagos térfogat növelésére a CMC, HPMC, a gumiarábikum és a κ-karragén is egyaránt alkalmas. A fajlagos térfogat növelése mellett a hidrokolloidok gyakran képesek növelni a tészta vízmegtartó képességét is (Kohajdová & Karovičová, 2009; Rosell et al., 2001; Rosell & Gómez, 2007; Selomulyo & Zhou, 2007; Sharadanant & Khan, 2003). A CMC által kiváltott hatások egy része a cukor hidroxilcsoportjai és a vízmolekulák között kialakuló hidrogénkötések miatt megy végbe. A hidrogénkötések révén csökken a szabad víz mennyisége, a vízmolekulák egy részének helyét poliszacharidok veszik át, melyek a keményítőláncokkal erős kölcsönhatást tudnak kialakítani, amik stabilizálják a térszatszerkezetet (Kaur & Singh, 1999; Kohajdová & Karovičová, 2009; Rosell & Gómez, 2007; Sharadanant & Khan, 2003). A HPMC és a gumiarábikum térfogatnövelő hatásának oka közel azonos. A hidratált polimerláncból sütés során víz szabadul fel, ami lehetővé teszi

láncközi kötések kialakulását, ezzel polimerhálózatok létrejöttét. A létrejövő hálózatok segítik a gázok visszatartását, ezzel előidézve kenyér térfogatának növekedését (Rosell & Gómez, 2007; Selomulyo & Zhou, 2007; Sharadanant & Khan, 2003). A κ -karragén annak köszönhetően növeli kenyér fajlagos térfogatát, hogy képes a síkérfehérjével kölcsönhatásba lépni (Kohajdová & Karovičová, 2009; Selomulyo & Zhou, 2007; Sharadanant & Khan, 2003).

Sharadanant és munkatársainak (2003) kutatása alapján a CMC, gumiarábikum, illetve a κ -karragén egymáshoz viszonyított hatékonysága is ismert az elősütés nélkül fagyasztott termék esetében. A CMC, gumiarábikum és a κ -karragén adagolásával is nagyobb fajlagos térfogatú végtermék érhető el, mint a szintén fagyasztott, de hidrokolloidot nem tartalmazó termékek esetében. A térfogatnövelés mértéke a gumiarábikum adagolásával a legnagyobb, ezt követi a κ -karragén-t majd a CMC-t tartalmazó kenyér. A fagyasztva tárolási idő növekedésével növekszik a bélzet keménysége is, ami a CMC, gumiarábikum és κ -karragén hozzáadásával is szignifikánsan csökkenthető. Az említett adalékanyagok közül a κ -karragén a másik két hidrokolloidnál jóval kisebb mértékben képes csökkenteni a keménységet. A kenyerek külső jellemzőinek értékeléséhez hozzátartozik a termék kinézete, mérete, a héj színe és törhetősége. A fagyasztva tárolt kenyerek esetén a külső megjelenés romlik a tárolási idő növekedésével. A CMC és a gumiarábikum adagolása visszaszorítja a külső jellemzők romlását a hidrokolloidokat nem tartalmazó kenyerek külső megjelenéséhez képest. A κ -karragén azonban nem alkalmas a külső jellemzők javítására, mivel sötét kéreg kialakulását idézi elő, emellett a héjon fehér foltok is megjelennek. A külső jellemzőkhöz hasonlóan a belső jellemzőket – bélzet állaga, textúrája, színe, pórusmérete – is javítja a CMC és a gumiarábikum, κ -karragén adagolásával viszont ugyancsak rosszabb minőség érhető el (Sharadanant & Khan, 2003). Ezen eredményeket az említett kutatók egy későbbi munkája is megerősíti (Sharadanant & Khan, 2006).

2.6.2 Egyéb adalékanyagok

Az **emulgeálószer**ek általában amfipatikus molekulák, melyek két egymással nem elegyedő folyadék diszpergálását teszik lehetővé. A diszpergálást az emulgeálószer molekuláinak folyadék határfelületen kialakuló monomolekuláris rétege a határfelületi feszültség csökkentésével biztosítja. Az emulgeálószer vagy felületaktív anyagok kölcsönhatásba lépnek a keményítővel, ezáltal sokkolt téstákban csökkentik a retrogradáció mértékét. Emellett szabályozzák a víz újra eloszlásának folyamatát a keményítő és a glutén között azáltal, hogy megakadályozzák a keményítő túlzott vízfelvételét. Az emulgeálószer a hozzáadott lipidekkel kölcsönhatásba lépve csökkenthetik a gázbuborékok felületi feszültségét,

így a tésztában nagyobb számban, kisebb gázbuborékok keletkezését eredményezik (Autio & Laurikainen, 1997; Rosell & Gómez, 2007; Selomulyo & Zhou, 2007; Y. Wang et al., 2024). Sütőiparban a mono-, és digliceridek diacetil borkősav-észterei (DATEM) és a szacharóz-észterek alkalmazása a leggyakoribb. DATEM alkalmazásával az adalékanyag-mentes termékekhez képest nagyobb térfogatú és puhább bélzetű hagyományos eljárással, illetve sokkolással készült kenyér állítható elő, ami a retrogradáció késleltetésének köszönhetően hosszabb ideig puha is marad. 0,6% körüli adagolási arány a jellemző (Selomulyo & Zhou, 2007; Whitehurst, 2004; Yadav D. et al., 2009). A szacharóz-észterek hozzáadásával puha bélzetű, nagy térfogatú, hosszabb eltarthatósági idejű kenyeret lehet előállítani legyen szó egyből készre sütött, vagy fagyasztás után sütött kenyérről. A szacharóz-észterek a keményítő mellett a fehérjékkel is képesek kölcsönhatásba lépni és komplexeket képezni, ezzel befolyásolva a tészta tulajdonságait (Barrett et al., 2002; Selomulyo & Zhou, 2007; Whitehurst, 2004).

Az **aszorbinsavat** széles körben használják a sütőiparban, mivel a sikérfehérjék kéntartalmú csoportjait a szomszédos fehérjemolekulák közötti diszulfid-kötésekké alakítják át ezzel erősítik a sikérszerkezetet. Az aszorbinsavat nem tartalmazó kenyerekhez képest az aszorbinsav tartalmú frissen, vagy fagyasztás után készre sütött kenyerek nagyobb fajlagos térfogattal és puhább bélzettel rendelkeznek (Ribotta et al., 2006; Ruska & Timar, 2010; Yadav D. et al., 2009).

Gyakran alkalmaznak **lipideket** is, zsírok vagy olajok formájában, illetve emulgeáló szerként lecitint is. Ezzel mono-, di-, és trigliceridek kerülnek a tésztába. A zsírok és olajok esetén a szokásos adagolás általában 2-5% a liszt mennyiségére vonatkoztatva, lecitin esetén ez a mennyiség valamivel kisebb, 0,3-1%. A tésztakialakulás során a lipidek alapvető fontosságúak, mivel a fehérjemátrixba ágyazódva kölcsönhatásba lépnek a fehérjékkel, és hozzájárulnak a sikérháló kialakulásához, ezzel a megfelelő viszkoelasztikus tulajdonságok eléréséhez. Ezen tulajdonságok elengedhetetlenek a gázvisszatartó képesség és a textúra szempontjából is. A lipidek alkalmazása tehát javítja a sokkolt termékek minőségét, nagyobb térfogatot, jobb textúrát (lágyabb, kevésbé kemény) kölcsönöznek a bélzetnek, valamint az eltarthatósági időt is növelik (Autio & Laurikainen, 1997; Pareyt et al., 2011; Sroan & MacRitchie, 2009).

2.7 Élelmi rostok alkalmazása a fagyasztás kedvezőtlen hatásainak kiküszöbölésére

Az élelmi rostok definícióját a magyar élelmiszerkönyv jelenleg is hatályban lévő 3-2-2008/1 számú irányelve tartalmazza. „Az összes élelmi rost az emészthetetlen szénhidrátok és a lignin összege. A legfontosabb élelmi rost típusok:

- Nem-keményítő poliszacharidok – cellulózok, hemicellulózok, pektinek, hidrokolloidok (gumik, nyálkaanyagok, β -glukánok)
- Rezisztens oligoszacharidok – frukto-oligoszacharidok (FOS), galakto-oligoszacharidok (GOS), egyéb rezisztens oligoszacharidok
- Rezisztens keményítő – fizikailag bezárt keményítő, néhány típusú nyers keményítő granulátum, retrogrált amilóz, kémiaiilag és/vagy fizikailag modifikált keményítők
- Diétás rost poliszacharidokkal természetesen egyesült lignin” (Codex Alimentarius Hungaricus, 2008)

Az élelmi rostok a humán szervezet egészséges működése szempontjából elsődlegesen az emésztésre vannak pozitív hatással, szabályozzák a táplálék tartózkodási idejét a bélcsatornában, illetve a széklet állagát és a székletürítés rendszerességét (Dewettinck et al., 2008; Gómez et al., 2003; Pérez-Quirce et al., 2017; Yan et al., 2021).

2.7.1 A gabonaőrleményekben található, illetve a kenyérfeldolgozás során leggyakrabban alkalmazott élelmi rostok

Sütőipari felhasználás szempontjából a pektin, β -glükán, arabinoxilán (oldható és nem oldható frakciók egyaránt), illetve az inulin alkalmazása a leggyakoribb a vízoldható élelmi rostok közül. Emellett a szentjánoskenyérlist alkalmazása is elterjedt, ami szintén vízoldható rostokban gazdag segédanyag. Az oldható élelmi rostokat széles körben használják sűrítőszerként, emulgeálószerként, stabilizátorként, zsírpótlóként, szuszpendáló és zselésítő anyagként az élelmiszeriparban. Az oldhatatlan élelmi rostok közül pékáruk előállításához leggyakrabban cellulózt, hemicellulózt és lignint használnak. Emellett a búza-, és zabkorpa alkalmazása is elterjedt, amelyek magas oldhatatlan élelmirost-tartalmuk mellett, oldható élelmi rostokat, illetve egyéb összetevőket (fehérje, lipid, vitamin, ásványi anyag) is tartalmaznak (Chavan et al., 2016; Cui et al., 2011, 2013; Dapčević-Hadnađev et al., 2018; Lazaridou & Biliaderis, 2007; Zannini et al., 2022).

A **pektin** α -1,4 kötéssel kapcsolódó D-galakturonsav egységekből felépülő lineáris láncú heteropoliszacharid, a galakturonsav egységek egy része metanollal észterezett. Pektinben található még a lineáris alapláncba beépülő ramnóz, valamint elágazásokat képző xilóz, arabinóz és galaktóz (Cui et al., 2011; Voragen et al., 2000; Yadav et al., 2023).

A **β -glükánok** β -D-glükopiranozból felépülő homopoliszacharidok. A gabonákban képződő β -glükánokban a két vagy három egymást követő β -D-glükopiranoz monomer β -1,4 kötéssel kapcsolódik, amelyeket egyetlen β -1,3 kötéssel kapcsolódó monomer követ. Forrástól függően (élesztő eredetű, mikrobiális eredetű) a polimer más szerkezetet is felvehet (Ahmed, 2015; Du et al., 2019; Lazaridou & Biliaderis, 2007). A β -glükánok előfordulása a gabonákban sem egységes, búzában főként az aleuron réteg sejtjeinek sejtfalában, zabban a szubaleuron rétegben, míg árpában és rozsban főként az endospermiumban lelhetők fel (Dapčević-Hadnađev et al., 2018; Dewettinck et al., 2008; Sapirstein, 2016).

Az **arabioxilán** gerincét β -(1,4) kötéssel kapcsolódó xilóz monomerek alkotják. A monomerek egy részének második, és/vagy harmadik szénatomjához kapcsolódó oxigénhez arabinóz kötődik (Mendis & Simsek, 2015; Yan et al., 2021; Zannini et al., 2022; Zhu et al., 2023). Az arabinoxilánok lehetnek vízzoldhatók vagy vízben nem oldódók. Az oldhatóság számos tényezőtől függ, mint például a molekulatömeg, polimerizációs fok, az arabinóz/xilóz arány (monomerösszetétel) és a növényi szövetekben megtalálható egyéb polimerekhez (pl. cellulóz, hemicellulóz) kapcsolódás (X. Guo et al., 2018; Izydorczyk & Biliaderis, 1995; Zannini et al., 2022).

Az **inulin** β -2,1 kötéssel kapcsolódó β -D-fruktóz monomerekből felépülő oligoszacharid, a lánc végéhez egy glükopiranoz monomer is kapcsolódik (Bojnanska et al., 2015; Kopeć et al., 2011; Salinas et al., 2012).

A **szentjánoskenyérlist** önmagában nem rost, ugyanakkor vízzoldható rostokban gazdag, főként galaktomannánokban, benne a mannóz:galaktóz arány körülbelül 4:1. Szerkezetéből adódóan a molekula képes kölcsönhatásba lépni a vízzel, így biztosítva a tészta nagy vízfelvevő képességét ezért vízmegtartó szerként alkalmazzák pékáruk készítésénél (Almeida et al., 2013; Chavan et al., 2016; Eskin, 2019).

A **cellulóz** β -1,4 kötésekkel kapcsolódó β -D-glükopiranoz egységekből felépülő lineáris láncú poliszacharid, a növényi sejtfa fő alkotóeleme, számos zöldségben, gyümölcsben,

gabonafélében és hüvelyesekben is megtalálható. Főként hemicellulózzal, pektinnel és ligninnel együtt fordul elő. A **lignin** nem szénhidrát, hanem egy térhálós, komplex háromdimenziós szerkezet, amely fenilpropán egységeken alapul. Hasonló tulajdonságai és élettani szerepe miatt mégis a rostok közé soroljuk (Chavan et al., 2016; Cui et al., 2013; McNamara et al., 2015).

A **búzakorpa** búza őrlési folyamatának egyik mellékterméke. A búza magja endospermiumból, csírából és egy többretegű külső védőrétegből épül fel, ez utóbbit őrléskor korpa frakcióként választják le. A korpa főleg a gabonaszem három fő alkotóját (perikarp, testa és aleuron réteg) tartalmazza. A búzakorpa perikarp és aleuron rétegei nem-keményítő poliszacharidokban gazdagok (Adams et al., 2015; Banu et al., 2017; Dewettinck et al., 2008 Dapčević-Hadnađev et al., 2018;). A búzakorpa elsősorban oldhatatlan rostokban gazdag - magas a cellulóz, hemicellulóz és lignintartalma, - ugyanakkor oldható rostokat, arabinoxilánt, arabinogalaktánt és β - glükánt is tartalmaz, ami miatt képes hidratálódni és megkötni a rendelkezésre álló szabad víz nagy részét. A rostok mellett egyéb biológiailag aktív összetevő forrása, megtalálható benne az alkilrezorcinol, a ferulasav, szterinek, a B-vitamin, és ásványi anyagok is (Almeida et al., 2013; Cui et al., 2013; Dapčević-Hadnađev et al., 2018; Dewettinck et al., 2008; Duță et al., 2018).

A **zabkorpa** a zab feldolgozásának mellékterméke. A száraz őrléssel feldolgozott gabonafélék, így a zabkorpa is tartalmaz az aleuron és az endospermium különböző szöveti rétegeiből származó komponenseket is. Számos táplálkozási és élettani szempontból fontos összetevő megtalálható benne, többek között telített zsírsavak, vitaminok és fenolos komponensek is (Dapčević-Hadnađev et al., 2018; Izydorczyk et al., 2014). Az élelmirost-tartalma széles határok között - 10-40% - változik fajtától, termőhelytől, és az időjárási viszonyoktól függően. Vízoldhatatlan (cellulóz, hemicellulóz, lignin) és vízoldható élelmi rostokat (főként β -glükán) is tartalmaz (Dapčević-Hadnađev et al., 2018; Duță et al., 2018; Izydorczyk et al., 2014; Kopeć et al., 2011).

2.7.2 Az élelmi rostok hatása a viszkózus-, és dagasztási tulajdonságokra, valamint a végtermék minőségére

Az élelmi rostok poliszacharid mivoltukból kifolyólag nagyszámú hidroxilcsoportot, oxigénatomot és egyéb csoportot tartalmaznak, amelyek kölcsönhatásba léphetnek a vízmolekulákkal, főként hidrogénkötés révén. A víz mobilitása, sőt a jégkristályok kialakulása és növekedése is szabályozható e kölcsönhatásokkal, így jelentős hatást gyakorolnak az térsza

textúrájára, állagára és a végtermék minőségére. A víz viselkedésére gyakorolt hatás függ a vízzoldható és oldhatatlan rostok arányától. A technológiai tulajdonságok továbbá függenek a rostforrástól, valamint a feldolgozás típusától és mértékétől is (Almeida et al., 2013; Cui et al., 2013; Gómez et al., 2003). A viszkózus tulajdonságokat elsősorban a keményítő határozza meg, mennyiségtől, amilóz/amilopektin aránytól, lánchossztól és az elágazások számától függően. A keményítő mellett azonban a liszt egyéb összetevői, a sikerfehérjék, lipidek és nem-keményítő poliszacharidok (arabinoxilán, β -glükán) is hatással vannak – mennyiségtől, molekulaszerkezettől függően – a viszkózus tulajdonságokra (Brennan & Cleary, 2007; Harasztos et al., 2016; Lazaridou & Biliaderis, 2007; Yan et al., 2021, 2022). A dagasztási tulajdonságok elsősorban a sikerfehérjétől függenek, ugyanakkor a nem-keményítő poliszacharidok is hatással lehetnek a vízabszorpció értékére, valamint a tézszakialakulási időre és a stabilitásra egyaránt. A hatás függ az adagolási aránytól, valamint a rostok molekulaszerkezetétől és oldhatóságától is (Adams et al., 2015; Gómez et al., 2003; Wyrwisz, 2015).

β -glükán adagolásának hatására nő a tészta **vízabszorpciója** és a **tészszakialakulási idő** is (Ahmed, 2015; Hamed et al., 2014; Rieder et al., 2012; Skendi et al., 2010), habár a tézszakialakulási időre kifejtett ellentétes hatásról is beszámoltak már (Skendi et al., 2010). Hamed és munkatársai (2014) farinográfus vizsgálatokkal igazolták, hogy a magas β -glükán tartalmú árpaliszttal létrehozott kompozitlisztek vízfelvétele jelentősen nőtt a kontroll lisztekhez képest. A vízfelvétel jelentős növekedését nagyvalószínűséggel a keverék magas β -glükán tartalma váltotta ki (Hamed et al., 2014). Rieder és munkatársai (2012) pozitív korrelációt fedeztek fel a vízabszorpció értéke és a β -glükán tartalom, valamint a β -glükán molekulatömege között. Ennek oka a rost nagy vízkötő képessége. Tapasztalataik szerint zabkorpa adagolásának hatására jóval nagyobb vízabszorpció érhető el, mint árpaliszttel, annak ellenére, hogy a rostok teljes mennyisége alacsonyabb a zabkorpában. Mivel a zabkorpa β -glükán-tartalma jóval magasabb az árpalisztéhoz képest, arra lehet következtetni, hogy a vízabszorpció növekedése szempontjából a magas β -glükán-tartalom fontosabb, mint a többi rost nagy mennyisége (Rieder et al., 2012). A β -glükán **viszkozitásra gyakorolt hatása** tekintetében nem egységes az irodalom, a rost viszkozitásnövelő és -csökkentő hatásáról is beszámolnak kutatások. Az ellentétes eredmények arra vezethetők vissza, hogy a β -glükán molekulatömege, szerkezete és oldhatósága is befolyásoló tényező a viszkozitás szempontjából (Brennan & Cleary, 2007; Lazaridou & Biliaderis, 2007; Pérez-Quirce et al., 2017). A β -glükán **fajlagos térfogatra** kifejtett hatása függ a rost molekulaméretétől, az adagolási aránytól, az

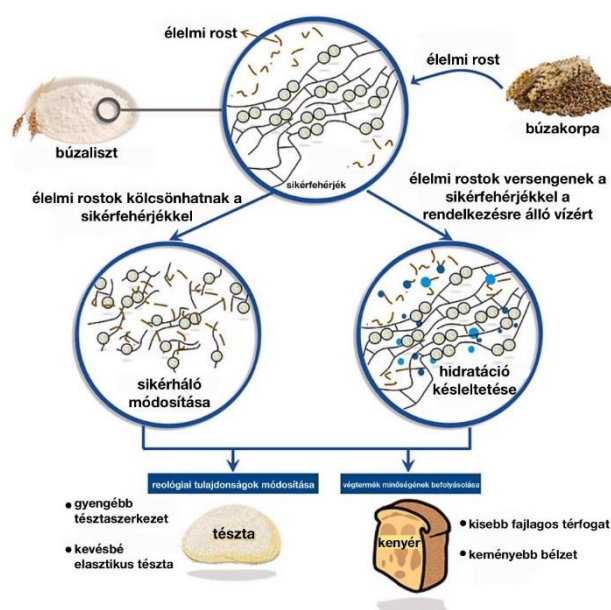
alkalmazott alapliszt minőségétől is. Ennél fogva a szakirodalom sem egységes a fajlagos térfogat változásának tekintetében, növekedést (pozitív korreláció az egyből készre sütött kenyér fajlagos térfogata és β -glükán tartalma között) és csökkenést egyaránt igazolnak kutatási eredmények. Több kutatás is beszámol arról, hogy β -glükán adagolása egy bizonyos arányig (2-4% alatt) növeli a fajlagos térfogatot, ugyanakkor az adagolás arányának növelésével már ellentétes a fajlagos térfogatra kifejtett hajtás, jellemzően csökkenés tapasztalható. Nagyobb molekulatömegű β -glükánok adagolása jellemzően nagyobb fajlagos térfogatú végterméket eredményez, a kisebb molekulatömegű változataihoz képest (Brennan & Cleary, 2007; Lazaridou & Biliaderis, 2007; Pérez-Quirce et al., 2017; Skendi et al., 2010). β -glükán adagolásának hatására jellemzően mérséklődik a **keményység**, már negatív korrelációt is felfedeztek a β -glükán mennyisége és a keménység mértéke között. Az arabinoxilánhoz hasonlóan a β -glükán molekulatömege is szerepet játszik a keménység csökkentésének mértékében, melyben a nagyobb molekulatömegű β -glükán tűnik hatékonyabbnak. A β -glükán keménységre kifejtett ellentétes (növelő) hatásáról is beszámol a szakirodalom, melynek hátterében az állhat, hogy a rost nagy vízkötő képessége miatt kevesebb a sikérfehérjék számára hozzáférhető víz mennyisége és nem tud teljesen kialakulni a sikérháló (Andrzej et al., 2020; Brennan & Cleary, 2007; Rieder et al., 2012; Skendi et al., 2010).

Az arabinoxilán vízben oldódó és vízben nem oldódó frakcióból áll, mindkét frakció nagy mennyiségű víz felvételére, megkötésére képes. A vízben nem oldódó frakció saját száraz tömegének körülbelül 10-szeresét, a vízben oldódó frakció pedig a száraz tömegének 11-szeresét képes felvenni (X. Guo et al., 2018; Shewry et al., 2023). A vízoldható és az oldhatatlan arabinoxilán adagolásának hatására egyaránt nő a liszt **vízabszorpciója**, illetve a **tésztakialakulási idő** is. Az arabinoxilán képes kölcsönhatást kialakítani a határfelületen lévő fehérjékkel, ezáltal stabilizálni a sikérhálót, ami a tészta stabilitási idejének növekedését vonja maga után. A hatás függ az arabinoxilán molekulaméretétől és az arabinóz/xilóz (A/X) aránytól is. A kisebb molekulatömegű több elágazást tartalmazó (magasabb A/X arány) arabinoxilán jobban integrálódik a fehérjemátrixba, míg a nagyobb molekulatömegű, kevésbé elágazó láncok aggregátumot hozhatnak létre. A kisebb molekulatömegű arabinoxilán, tehát alkalmasabb a stabilitás javítására. (Buksa et al., 2016; X. Guo et al., 2018; Saeed et al., 2016; Zannini et al., 2022; Zhu et al., 2023). Arabinoxilán adagolásának hatására nő a **viszkozitás**, a hatás azonban a dagasztási tulajdonságokhoz hasonlóan függ a rost mennyiségétől, molekulaméretétől és az elágazások számától a molekulában. Az arabinoxilán mennyiségének növekedésével a viszkozitás is egyre nő, feltehetően azért, mert nagyobb koncentrációban

jobban bevonják a keményítőszemcséket, így nagyobb mértékben növelik a szemcsék térfogatát, ezzel pedig a viszkozitást. A kisebb molekulaméretű, kevesebb elágazást tartalmazó arabinoxilán viszkozitásnövelő hatása erőteljesebb, a nagyobb molekulaméretű több elágazást tartalmazó változathoz képest. Ez a hatás annak tulajdonítható, hogy a kisebb arabinoxilán-molekulák erősebb kölcsönhatást tudnak kialakítani a keményítőszemcsékkel. Bizonyos kutatási eredmények viszkozitáscsökkenést mutatnak arabinoxilán adagolásának hatására, aminek oka az eltérő molekulaméret, monomerösszetétel, az eltérő mátrixból történő izolálás és izolátum-tisztaság is lehet (Harasztos et al., 2016; Izydorczyk & Biliaderis, 1995; Yan et al., 2021, 2022). Arabinoxilán adagolásának hatására jellemzően nő a végtermék **fajlagos térfogata**, azonban az adagolási arány kulcsfontosságú. Nagyjából 2,5-3%-os adagolás jelenti a határt, ennél kisebb mennyiség esetén a fajlagos térfogat növekedése várható, nagyobb adagolási aránynál a fehérje hálózat olyan mértékben gyengül a rost jelenléte miatt, hogy romlik a gázvisszatartó képesség (Koegelenberg & Chimphango, 2017; Zannini et al., 2022; Zhu et al., 2023). Az egyből készre sütött, vízdoldható arabinoxilánt tartalmazó kenyér bélzete kevésbé **kemény**, mint az arabinoxilán mentes kenyéré. Ez annak köszönhető, hogy az arabinoxilán lágy gél képez, ami csökkenti a tárolás során bekövetkező vízveszteség mértékét, valamint késlelteti a retrogradáció folyamatát is. Ugyanakkor a molekulatömegnek is fontos szerepe van a keménység szempontjából, egyes kutatások szerint a nagyobb molekulatömegű arabinoxilán adagolása puhább bélzetet eredményez, a kisebb molekulatömegű rost adagolásához képest (Biliaderis et al., 1995; Koegelenberg & Chimphango, 2017; Saeed et al., 2015; Zhu et al., 2023).

A búzakorpa az oldható élelmirostok közül legnagyobb mennyiségben arabinoxilánt tartalmaz, emellett β -glükán is megtalálható benne, ami a zabkorpa legjelentősebb élelmirost komponense is. A korpák reológiai tulajdonságokra gyakorolt hatása az őket alkotó élelmirostokéhoz hasonló. Búza-, és zabkorpa adagolásának hatására is nő a **vízabszorpció** és a **tésztakialakulási idő**, valamint csökken a **stabilitás** (7. ábra). A vízabszorpció értékének növekedése a kontroll liszthez képest annál nagyobb, minél nagyobb búza-, illetve zabkorpa mennyisége a lisztmennyiséghez viszonyítva. A 10-30% közötti adagolási arány a legjellemzőbb (Banu et al., 2017; Boita et al., 2016; Campbell et al., 2008; Dewettinck et al., 2008; Liu et al., 2019; Sudha et al., 2007). Campbell és munkatársainak (2008) eredményei alapján a búzakorpa vízfelvételre vonatkoztatott hatása a korpa szemcseméretétől szinte független. Ezzel ellentétben zabkorpa esetében a vízabszorpció növekedésének mértéke függ a korpa szemcseméretétől. Kisebb szemcseméret esetén nagyobb a vízfelvétel értékének

növekedése, a fajlagos felület növekedése miatt (Campbell et al., 2008). Moore és munkatársai is szemcsemérettől független vízabszorpció-növekedésről számoltak be búzakorpa esetén (D. Zhang & Moore, 1997). Az irodalomban azonban ellentmondásos eredmények is fellelhetők, miszerint a kisebb szemcseméretű búzakorpa nagyobb mértékben növeli a vízabszorpciót (Liu L.-Y. et al., 2018), és rontja a stabilitást (Amr et al., 2023). A búza-, illetve zabkorpa adagolásának hatására csökken az egyből készre sütött kenyerek **fajlagos térfogata**, melynek oka lehet, hogy a korpaszemcsék mechanikailag károsítják a tésztaszerkezetet (7. ábra) ezzel rontják a gázvisszatartó képességet (Banu et al., 2017; Campbell et al., 2008; Gómez et al., 2003; Liu et al., 2019). Campbell és munkatársai (2008) búzakorpa adagolása esetén a kelesztési és sütési eredmények közötti gyenge korrelációt észleltek, eszerint a búzakorpa inkább a sütés során, mint a kenyérfélesztési folyamat korábbi szakaszában fejtette ki hatását a fajlagos térfogatra. A búzakorpával ellentétben a zabkorpa esetén szoros összefüggést mértek a kelesztés során bekövetkező táulás és a sült cipó térfogata között. Az eredményeik azt mutatják, hogy a búza- és zabkorpa esetében eltérő a tésztaszerkezetre kifejtett hatás mechanizmusa. A búzakorpa elsősorban a sütés során fejt ki hatását, míg a zabkorpa kelesztés szakaszában (Campbell et al., 2008). Mind a búza-, mind pedig a zabkorpa adagolása negatívan hat az egyből készre sütött kenyerek bélzetének **keményiségére**. Ezen rostkomponensek alkalmazásával a kontroll kenyerekhez képest keményebb bélzetű végtermék állítható elő (Banu et al., 2017; Boita et al., 2016; Campbell et al., 2008).



7. ábra: A búzakorpában található élelmi rostok hatása a reológiai tulajdonságokra és a végtermék minőségére (Sun, Wu, et al., 2023)

Az inulin a többi említett rosttal ellentétben, Peressini és munkatársainak (2009) eredményei alapján 2,5-, 5-, és 7,5%-os szárazanyagtartalomra vonatkoztatott adagolás esetén is csökkenti a lisztkeverék **vízabszorpcióját** (Peressini & Sensidoni, 2009). Több kutatásban is írnak hasonló eredményről (Bojnanska et al., 2015; Luo et al., 2018; Salinas et al., 2012), habár 15-25% közötti adagolás esetén már megnövelt vízabszorpcióról is beszámoltak (Bojnanska et al., 2015). Az inulin **fajlagos térfogatra** gyakorolt hatásáról szóló kutatások sem mutatnak egy irányba. Egyes kutatások az inulin térfogatnövelő hatását igazolják, ami az adagolás arányának növelésével egyre intenzívebb (Luo et al., 2018; Peressini & Sensidoni, 2009). Ezzel ellentétben több kutatás a fajlagos térfogat csökkenéséről számol be inulin adagolása mellett (Bojnanska et al., 2015; J. Wang et al., 2002). Az inulin bélzet **keményiségre** kifejtett hatása szempontjából változatos eredmények találhatók a szakirodalomban. Egyes kutatások alapján egyből készre sütött kenyerek bélzetének keménysége nagyobb, mint az inulint nem tartalmazó kenyereké akár az inulin 3-, és 5%-os adagolásának hatására is. Ennek okai lehetnek, hogy az inulin felgyorsítja az amilopektin kristályosodásának folyamatát, vagy akár együtt is kristályosodik vele. A bélzet keménységét nagyobb mértékben növeli, ha az inulint a liszthez gél helyett por formájában adagolják (Morris & Morris, 2012; Ronda et al., 2014; Salinas et al., 2012). Azonban nem minden kísérleti eredmény mutat szignifikáns különbséget az inulint tartalmazó, vagy nem tartalmazó kenyerek keménysége között (Bojnanska et al., 2015).

2.7.3 Az élelmi rostok hatása a sokkolt pékárak minőségére

Az élelmi rostok adagolásának fajlagos térfogatra kifejtett hatása tekintetében a szakirodalomban fellelhető eredmények nem egységesek. Azonban egyes munkák beszámolnak nagyobb fajlagos térfogatú végtermékről, ezért számos kutatás irányul arra, hogy a fagyasztás után készre sütött kenyerekben, a fagyasztás fajlagos térfogatra kifejtett negatív hatása mérsékelhető-e rostok hozzáadásával. Adams és munkatársainak (2015) kutatása alapján az aleuront vagy búzakorpát tartalmazó lisztek a hagyományos búzaliszthez képest jóval ellenállóbbak a fagyasztás fajlagos térfogatra kifejtett negatív hatásával szemben. A fajlagos térfogat és a gázvisszatartás csökkenésének mértéke is jóval kisebb, mint a hagyományos búzaliszt esetén. Ennek az lehet a fő oka, hogy a rostkomponensek kölcsönhatásba lépnek a tésztában lévő szabadon hozzáférhető vízzel, ezáltal csökkentik a víz újraelosztásának mértékét, így a sikérszerkezet is kevésbé módosul. Az aleuron előhidratálása továbbá a fajlagos térfogat növekedését is eredményezi azon kenyerekkel szemben, melyek az aleuront előre nem hidratált formában tartalmazzák. Ugyanez nem mondható el a búzakorpa esetén, mert ezen rostkomponens előhidratálása nem befolyásolja szignifikánsan a fajlagos térfogatot. (Adams

et al., 2015). A búzakorpa fagyasztás után készre sült kenyerék fajlagos térfogatára kifejtett hatása szempontjából nem egységes a szakirodalom. Adams eredményeivel ellentétben Ronda és munkatársainak (2014) kutatása azt igazolta, hogy 6% búzakorpa, illetve 6% búzakorpa + 2% inulin adagolása jelentősen csökkent a fajlagos térfogatot (Ronda et al., 2014). Rosell és munkatársainak (2010) eredményei alapján a pektint tartalmazó részlegesen sült, majd fagyasztott kenyerék fajlagos térfogata és morzsaszerkezete sem változott jelentősen a fagyasztva tárolás során. 3 hónapnyi fagyasztva tárolás után a pektin tartalmú kenyér fajlagos térfogata a kontroll mintáénál is nagyobb volt (Rosell & Santos, 2010).

A részben sült, fagyasztott kenyerék keménysége általában a hagyományos eljárással készült kenyerékénél nagyobb, több kutatás is vizsgálja, hogy a fagyasztás keménységre kifejtett negatív hatása mérsékelhető-e rostadagolással. Almeida és munkatársainak (2013) kutatása például kimutatta, hogy több élelmirost-forrás - búzakorpa, rezisztens keményítő, szentjánoskenyér liszt - adagolásának hatására a tárolás első napjában ugyan keményebb volt a bélzet, de négy és hét nap elteltével már egyezett a hagyományosan sült kenyerék értékeivel (Almeida et al., 2013). Az amilopektin kristályosságának mértéke befolyásolja a morzsa keménységét, Ronda és munkatársainak (2014) eredményei szerint a nagy szemcséjű, valamint egyenetlen, heterogén szemcseeloszlással rendelkező, oldhatatlan rostban gazdag segédanyagok – például a búzakorpa – fizikailag akadályozhatják az amilopektin kristályosodását. Ez a retrogradációs sebesség csökkenését, ezáltal alacsonyabb bélzetkeménységet eredményez (Ronda et al., 2014). Adams és munkatársainak (2015) kutatása azt igazolja, hogy a rostos komponenseket célszerű lehet a tésztához keverés előtt hidratálni. A búzakorpa és az aleuron előzetes hidratálása azt eredményezheti, hogy a rostkomponensek (AX, cellulóz, β -glükán) és a liszt legfőbb alkotói (keményítő és sikefehérjék) között csökken a vízárt folytatott verseny. Azon kenyerék bélzete, melyeket előhidratált búzakorpa vagy aleuron adagolásával állítanak elő, szignifikánsan kisebb keménységűek, mint a teljes kiörlesű lisztből, vagy mint a nem hidratált rostok adagolásával készült kenyeréké (Adams et al., 2015).

A bélzet keménységére a retrogradáció sebességének befolyásolásán kívül, egyes élelmi rostok a **fagyasztható víztartalom** mennyiségének és a **vízviisszatartásnak** a szabályozásával is képesek hatni (Andrzej et al., 2020; Hamed et al., 2014; Jarosław Wyrwicz, 2015; Leray et al., 2010). Leray és munkatársai (2010) inulint és zabból kinyert élelmi rostokat egyaránt tartalmazó lisztkeverékből készült kenyerék viselkedését vizsgálták fagyasztás hatására. Eredményeik alapján az élelmi rostot tartalmazó tészták fagyasztható víztartalma alacsonyabb, mint a rostmentes, búzalisztből készült tészták esetén. Ez a fagyasztás során kevesebb

jégkristály-képződéshez, így a tézstaszerkezet kisebb károsodáshoz és a víz újra eloszlásának visszaszorításához vezet. A hatás kiváltó oka az lehet, hogy a rostok hidroxilcsoportjaiknak köszönhetően vízzel nagy számban tudnak kölcsönhatást, hidrogénkötést kialakítani (Leray et al., 2010). Fagyasztva tárolás során keletkező jégkristályok kevésbé képesek kapcsolódni a fehérjéhez és a keményítőhöz. Ennek eredményeképpen megváltozik a tézstarendszer vízeloszlása, ami a sikérszerkezet romlásához vezet (Andrzej et al., 2020; Hamed et al., 2014). Hamed és munkatársainak (2014) eredménye alapján magas β -glükán tartalmú árpaliszttal létrehozott kompozitlisztből készült tézstákban a fagyasztva tárolás első heteiben jelentősen alacsonyabb a fagyasztható víztartalom, mint a sima búzalisztből készülő tézsták esetén. Magas β -glükán-tartalmú lisztkeverék alkalmazása elősegítheti a jégkristályok növekedésének gátlását és korlátozhatja a vízmolekulák mobilitását, ami alacsonyabb fagyasztható víztartalomhoz vezet (Hamed et al., 2014). A vízvisszatartás az újra sütött kenyerek esetében azért különösen fontos, mert a két sütési szakasz (elősütés, készre sütés) túlzott kiszáradást okozhat. Almeida és munkatársainak (2013) eredményei alapján a búzakorpa, rezisztens keményítő, illetve a szentjánoskenyér liszt a hagyományos, és az elősütött kenyerek esetében is szerepet játszik a vízvisszatartásban, rostokként eltérő metódussal. A búzakorpa már a tézstaszerkezet kialakulásakor nagy mennyiségű vizet köt meg szerkezetének köszönhetően. A szentjánoskenyér liszt és a rezisztens keményítő a retrogradáció során felszabaduló vizet köti meg (Almeida et al., 2013).

2.8 A sokkolt pékáruk minősítésének lehetőségei

Számos kutatás foglalkozik a sokkolt pékáruk vizsgálatával, legyen szó a különböző előállítási folyamatok végtermékminőségre gyakorolt hatásáról, az előállítási lépések optimalizálásáról, vagy a különböző gabonaőrlemények, segéd-, és adalékanyagok hatásainak feltérképezéséről. A sokkolt termékekre – a hagyományos kenyérsütéssel ellentétben – nincs egységes, szabványos vizsgálati módszertan. A kutatásokban – ahogy az *1. táblázat* is mutatja – általában eltérő a kenyérkészítés folyamata (opcionális lépések – elősütés, fagyasztás utáni kelesztés – megléte), illetve a dagasztás, kelesztés, fagyasztás, kiolvasztás, valamint a sütés körülményei és időtartama is.

A legnagyobb különbségek a dagasztás, fagyasztás, kiolvasztás és sütés folyamataiban vannak. A dagasztást egyes kutatásokban dagasztógépben (Giannou & Tzia, 2016; Rosell & Santos, 2010; Yi et al., 2009), másokban Farinográf használatával (Yang et al., 2021) végzik. A folyamat végezhető fix ideig (Ma et al., 2016; Rosell et al., 2009), vagy a tézstakialakulási

időnek megfelelően (Bae et al., 2014; Yang et al., 2021), illetve állandó (Rosell & Santos, 2010; Ruska & Timar, 2010), vagy változó fordulatszám (Giannou & Tzia, 2016; Ribotta & Le Bail, 2007) mellett. A fagyasztás folyamatában alapvető különbség, hogy egyes kutatások gyorshűtést (sokkolás) (Rosell et al., 2009; Yang et al., 2021; Yi & Kerr, 2009), míg mások egyszerű mélyhűtőben történő fagyasztást alkalmaznak (Giannou & Tzia, 2016). Bizonyos esetekben a fagyasztást fix ideig (Ribotta & Le Bail, 2007; Ruska & Timar, 2010), máskor pedig előre meghatározott maghőmérséklet eléréséig (Rosell & Santos, 2010; Vulicevic et al., 2004; Yang et al., 2021) végzik, ebből adódóan az alkalmazott fagyasztási idők között nagy az eltérés. A fagyasztás idejét a fagyasztás hőmérséklete is befolyásolja, az alkalmazott fagyasztási hőmérséklet ez a paraméter is nagy változatosságot mutat (-18-40 °C) az általam vizsgált kutatásokban. A kiolvasztós metódusában alapvető különbség, hogy egyes munkák során szobahőmérsékleten (állandó hőmérséklet biztosítása nélkül) (Bae et al., 2014; Rosell et al., 2009; Ruska & Timar, 2010), másokban viszont kelesztő berendezésben (állandó hőmérséklet fenntartása mellett) (Giannou & Tzia, 2016; Yang et al., 2021; Yi et al., 2009) végezték a folyamatot. Az eltérő és nem is minden esetben leszabályozott kiolvasztási hőmérsékletből adódóan a kiolvasztás ideje is jellemzően eltérő. Kelesztőben végzett kiolvasztás esetén a relatív páratartalom tekintetében is nagy a változatosság. A sütés folyamatában különbség van a berendezések és sütési módok között is, alkalmaznak légkeveréses sütést (gőzbevezetéssel kombinálva, vagy anélkül (Giannou & Tzia, 2016; Rosell et al., 2009)), gázsütést (Yi & Kerr, 2009) sőt még gőzölést (Ma et al., 2016) is. A különböző sütési módokból adódóan, eltérő időtartam és hőfok alkalmazása szükséges. A sütési idejét és hőfokát az is befolyásolja, hogy elősütött kenyerek végső sütését, vagy kiolvasztott tészták sütését végzik.

A nagyon változatos módszertan miatt, valamint, hogy az alapanyagok és egyéb segédanyagok is széles spektrumon mozognak, nehéz az irodalomban fellelhető adatok összevetése és összehasonlító értékelése. Továbbá nehézséget okoz a laboratóriumi módszertan kidolgozása és így az általunk kapott eredmények összevetése az irodalomban leírtakkal.

1. táblázat: A sokkolt termékekre irányuló kutatásokban alkalmazott eltérő vizsgálati módszerek

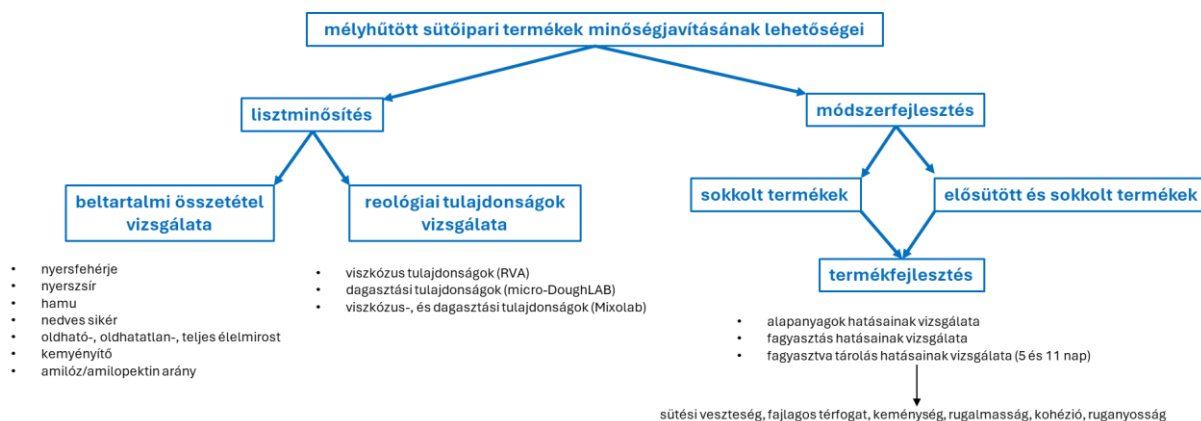
	keverés, dagasztás, formázás	kelesztés	elősütés	fagyasztás	tárolás	kiolvasztás	kelesztés	sütés
(Rosell et al., 2009)	Tésztakészítés dagasztógépben, 6 percen át. 10 perc pihentetés után a tészta felosztása 70 grammos részekre és kézi formázás.	35 °C-ra állított kelesztőben, 95%-os relatív páratartalom mellett 45 percig.	A csak sokkolt termék esetén nem alkalmazták, elősütött és sokkolt termék esetén 170 °C-on 16 percig.	-30 °C-ra állított sokkolóban, addig amíg a maghőmérséklet elérte a -18 °C-ot.	Mélyhűtőben, -18 °C-on 1, 2, illetve 3 hónapig.	Szobahőmérsékleten 60 percig.	A sokkolt termékek esetén kelesztőben, 35 °C-on 95%-os relatív páratartalom mellett, 1 órán át. Az elősütött termék esetén nem alkalmazták.	A csak sokkolt termékek esetén 185 °C-on, 15 percig, a sütés kezdetén gőzbevezetéssel. Elősütött sokkolt termékeknel 185 °C-on 8 percig.
(Rosell & Santos, 2010)	Tésztakészítés dagasztógépben, 9 percen át. 10 perc pihentetés után a tészta felosztása 70 grammos részekre és kézi formázás.	35 °C-ra állított kelesztőben, 95%-os relatív páratartalom mellett 1 órán át.	170 °C-on 16 percig.	-30 °C-ra állított sokkolóban, addig amíg a maghőmérséklet elérte a -18 °C-ot.	Mélyhűtőben, -18 °C-on 1, 2, illetve 3 hónapig.	25 °C-on 10 percig.	Nincs adat.	230 °C-on 12 percig.
(Giannou & Tzia, 2016)	Tésztakészítés dagasztógépben, 2 percen át alacsony, 8 percen át magasabb sebességi fokozaton. Egyből a dagasztás után a tészta felosztása 80 grammos részekre és kézi formázás.	Nincs fagyasztás előtti kelesztés.	Nincs elősütés.	Nincs sokkolás, a tészta egyből a tárolásra is használt -20 °C-ra beállított mélyhűtőbe kerültek.	Mélyhűtőben, -20 °C-on, 2 héttől 4 hónapig (a minták minősítése kéthetente történt).	Kelesztő berendezésben, 25 °C-on 165 percig.	Kelesztő berendezésben, 25 °C-on 30 percig.	Légkeveréses sütőben 180 °C-on 35 percig.
(Yi & Kerr, 2009)	Tésztakészítés dagasztógépben, 2 percig 120 rpm-en keverőkarral, további 8 percig 178 rpm-en dagasztókarral. Egyből a dagasztás után a tészta felosztása 50 grammos részekre és kézi formázás.	Nincs fagyasztás előtti kelesztés.	Nincs elősütés.	Sokkolás 4 különböző sebességgel, eltérő ideig. 19 °C/h: 2,27 óráig; 41 °C/h: 0,95 óráig; 55 °C/h: 0,62 óráig; 72 °C/h: 0,45 óráig.	Mélyhűtőben, 4 különböző hőmérsékleten (-10, -20, -30, -35 °C). 30, 60, 90 és 180 napig.	8 °C-on, 35%-os relatív páratartalom mellett. Az időtartamról nincs adat.	Kelesztőben 36 °C-on 85%-os relatív páratartalom mellett. Az időtartamról nincs adat.	Gázsütőben 180 °C-on 15 percig.
(Yang et al., 2021)	Dagasztás Farinográfban, 500 BU (Brabender Unit) eléréséig. Dagasztás után a tészta felosztása 60 grammos részekre és extenzográfal történő formázás.	Nincs fagyasztás előtti kelesztés.	Nincs elősütés.	Sokkolás 3 különböző hőmérsékleten (-20, -30, -40 °C), addig amíg a maghőmérséklet -18 °C-ra csökken.	Mélyhűtőben -18 °C-on, 1 illetve 30 napig.	25 °C-os kelesztőben 85%-os relatív páratartalom mellett, 60 percig.	Nem volt kelesztés.	Nem végeztek sütést, a tészta reológiai tulajdonságait vizsgálták.

(Ma et al., 2016)	Tészta készítése dagasztógépben alacsony sebesség (nincs pontosabb adat) mellett 5 percig. Dagasztás után a tészta felosztása 100 grammos részekre és kézi formázás.	Két eltérő metódus alkalmazása: az egyikben nincs fagyasztás előtti kelesztés, a másikban igen, 38 °C-os kelesztőben 85%-os relatív páratartalom mellett 40 percig.	Nincs elősütés.	Fagyasztás -38 °C-on, 2 óráig.	Mélyhűtőben -18 °C-on, 1 napig.	Szobahőmérsékleten, az időtartamról nincs adat.	A fagyasztás előtt nem kelesztett tészta esetén alkalmazták, 38 °C-on, 85%-os relatív páratartalom mellett, 1 órán át.	A tésztát sütés helyett gőzölték, forrásban lévő vízzel 30 percig.
(Bae et al., 2014)	Tészta készítése dagasztógépben, a Farinográffal meghatározott tésztakialakulási időig. Dagasztás után a tészta felosztása 150 grammos részekre és kézi formázás.	Nincs fagyasztás előtti kelesztés.	Nincs elősütés.	Fagyasztás - 40 °C-on, az időtartamról nincs adat.	Mélyhűtőben, -20 °C-on, 2 és 4 hétig.	Szobahőmérsékleten, 1 óráig.	Kelesztő berendezésben, 30 °C-on, 85%-os relatív páratartalom mellett, 1 óráig.	215 °C-on, 24 percig.
(Ribotta & Le Bail, 2007)	Tésztakészítés dagasztógépben, 9 percig nagyobb, további 2 percig alacsonyabb sebességi fokozaton. Dagasztás után a tészta felosztása 160 grammos részekre és 15 perc pihentetés után gépi formázás.	30 °C-os kelesztő berendezésben, 90 %-os relatív páratartalom mellett, 100 percig.	Légkeveréses sütőben 150 °C-on, 13 percig, a sütés kezdetén 300 ml gőz bevezetésével.	Sokkolás 60 percig, a hőmérsékletéről nincs adat.	-19 °C-on, 4 hónapig.	30 °C-on, 60 percig.	Nem volt kelesztés.	220 °C-on, 10 percig.
(Ruska & Timar, 2010)	Tésztakészítés dagasztógépben, 130 rpm-en. Dagasztás után a tészta felosztása akkora részekre, ami nagyjából 100 g lisztet tartalmazott, és kézi formázás.	Nincs fagyasztás előtti kelesztés.	Nincs elősütés.	Sokkolóban, levegő cirkuláció mellett - 35 °C-on, 2-3 óráig.	Mélyhűtőben, - 20 °C-on, 2 napig, illetve 2-, 8-, 14-, 20-, 26 hétig.	Szobahőmérsékleten, addig amíg a maghőmérséklet elérte a 18 °C-ot.	Kelesztő berendezésben, 37,5 °C-on, 83%-os relatív páratartalom mellett.	204 °C-on, 25 percig.
(Vulicevic et al., 2004)	Tésztakészítés dagasztógépben, optimális hőmérséklet (24-29 °C) eléréséig. Dagasztás után a tészta felosztása 450-510 grammos részekre.	36 °C-on, 85%-os relatív páratartalom mellett 10-180 percig. Többfajta liszttel dolgoztak, nincs pontos adat, hogy melyik mintánál pontosan mennyi volt a kelesztési idő.	190-230 °C között 18-28 perces időtartamig. Többfajta liszttel dolgoztak, nincs pontos adat, hogy melyik mintánál mik voltak a pontos körülmények.	Miután a maghőmérséklet visszahűlt 40 °C-ra, a sokkolás - 30 °C-on történt, amíg a maghőmérséklet -7 °C-ra hűlt.	Mélyhűtőben, -18 °C-on, minimum 4 hétig.	Nincs adat.	Nincs adat.	Az alkalmazott lisztől függően 180-220 °C között (nincs pontos adat, hogy melyik mintához milyen hőfok tartozott), 15 percig.

3. Anyagok és módszerek

3.1 Kísérletterv

Kutatómunkám célja volt a sokkolt pékáruk minőségjavítási lehetőségeinek vizsgálata, az eltérő beltartalmi összetételű, illetve viszkózus-, és dagasztási tulajdonságokkal rendelkező lisztek és gabonaőrlemények végtermék minőségére kifejtett hatásainak tanulmányozásán keresztül (8. ábra).



8. ábra: A kutatás során alkalmazott kísérletterv

3.2 Anyagok

Vizsgálataim során a kenyérfőzéshez 4 különböző búzalisztet és ezekből készített keverék lisztet használtam, melyeket a Gyermelyi Zrt., illetve a martonvásári HUN-REN Agrártudományi Kutatóközpont Mezőgazdasági Intézete biztosított számunkra (2. táblázat). A kenyerek elkészítéséhez szükséges egyéb összetevők (élesztő, starter kultúra kovászhoz, élelmiszeripari minőségű só, sokkolt termékekhez használt adalékanyag) a Lipóti Pékség jóvoltából álltak rendelkezésünkre. A lisztet a mérések elvégzéséig hűtött helyiségben, légmentesen lezárható műanyag tasakokban tároltam, a többi alapanyagot pedig szintén lezárható műanyag tasakokban, hűtőszekrényben 4 °C-on.

2. táblázat: A kutatás során felhasznált lisztek és lisztkeverékek

Liszt típusa	Forrás
sütőipari minőségű búzaliszt (BL 80)	Gyermelyi Zrt.
élelmi rostban gazdag kísérleti búzaliszt (DBL)	Gyermelyi Zrt.
magas sikértartalmú búzaliszt (javító búzaliszt)	HUN-REN Agrártudományi Kutatóközpont
alacsony amidóztartalmú búzaliszt (waxy liszt - NX02Y4530)	HUN-REN Agrártudományi Kutatóközpont
élelmi rostban gazdag lisztkeverék (DBL-keverék): BL 80 – DBL 70:30 arányú keveréke	Kísérleti előállítás – BME ABÉT
alacsony amidóztartalmú lisztkeverék (waxy-keverék): BL 80 – waxy búzaliszt 70:30 arányú keveréke	Kísérleti előállítás – BME ABÉT

3.3 Alkalmazott módszerek

3.3.1 Beltartalmi vizsgálatok

3.3.1.1 Nedvességtartalom meghatározása

Mérés elve

A nedvességtartalmat közvetett, szárítósos módszerrel határoztam meg a MSZ EN ISO 712:2010 szabvány szerint. Szárítással a mintában található víz és illékony komponensek eltávolíthatóak, a minta kezdeti és szárítás utáni tömegének különbségéből meghatározható a nedvességtartalom.

Alkalmazott anyagok és eszközök

- 4 alapliszt (BL 80, DBL, magas sikértartalmú búzaliszt, waxy liszt)
- szárítóedények
- vegyszereskanál
- Sarorius Balance 61 10 analitikai mérleg
- exsikkátor
- szárítószekrény (MLW WS 50)

Mérés menete

Analitikai mérlegen megmértem az üres szárítóedények tömegét (W_1). A 4 különböző lisztből, lisztenként 2-2 szárítóedénybe bemértem megközelítőleg 0,5 g mintát, és a mintával együtt megmértem a szárítóedény tömegét (W_2). A mintákat 130 °C-os szárítószekrénybe helyeztem 75 percre, majd exsikkátorban hűtöttem le. Ezután ismét megmértem a mintákat tartalmazó edények tömegét (W_3). A kezdetben bemért és a szárított minták tömegének különbsége alapján a nedvességtartalmat az alábbi képlettel számoltam ki:

$$\text{Nedvesség (\%)} = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} * 100\%$$

ahol, W_1 a szárítóedény tömege [g], W_2 a szárítóedény és a minta kezdeti össztömege [g], W_3 pedig a minta és az edény össztömege a szárítás után [g].

3.3.1.2 Hamutartalom meghatározása

Mérés elve

A hamutartalmat a MSZ EN ISO 2171:2010 szabvány szerint határoztam meg. Izzítás során a minta szerves alkotórészei szén-dioxiddá és vízzé égnek el, a visszamaradó anyag adja a hamutartalmat, mely az élelmiszer szervesetlen anyagait tartalmazza. A minta kezdeti és izzítás utáni tömegének különbségéből számítható a hamutartalom.

Alkalmazott anyagok és eszközök

- 4 alapiszt (BL 80, DBL, magas sikértartalmú búzaliszt, waxy liszt)
- porcelántégelyek
- Sartorius Balance 61 10 analitikai mérleg
- elektromos főzőlap
- izzító kemence (DENKAL 4-K/1100)
- exszikkátor

Mérés menete

Analitikai mérlegen megmértem az üres porcelántégelyek tömegét (W_1). A 4 különböző lisztből, lisztenként 2-2 tégllybe bemértem megközelítőleg 0,7 g mintát, és a mintával együtt megmértem a téglly tömegét (W_2). A mintákat főzőlapra helyeztem, addig melegítettem, amíg már a mintának csak az elszenesedett maradéka volt a tégllyben. Ez nagyjából 20-30 percet vett igénybe. Ezután a mintákat 5 órán át izzítottam 550 °C-os kemencében. Izzítás után a mintákat exszikkátorban hűtöttem le. Ezután ismét megmértem a mintákat tartalmazó porcelántégelyek tömegét (W_3). A kezdetben bemért és az elhamvasztott minták tömegének különbsége alapján a hamutartalmat az alábbi képlettel számoltam ki:

$$\text{Hamu (\%)} = \frac{W_3 - W_1}{W_2 - W_1} * 100\%$$

ahol, W_1 a téglly tömege [g], W_2 a téglly és a minta kezdeti össztömege [g], W_3 pedig a téglly és a minta együttes tömege a hamvasztás után [g].

3.3.1.3 Nyersfehérjetartalom meghatározása

Mérés elve

A fehérjetartalmat Dumas-módszerrel határoztam meg a MSZ EN ISO 16634-2:2016 szabvány szerint. Az eljárás során égetéssel a minta nitrogén tartalma nitrogén-oxidokká alakul, redukáló közegen átvezetve, pedig molekuláris nitrogén keletkezik, melyet a hővezetőképesség változásával mérünk, így a minta össznitrogén-tartalma állapítható meg kalibráció segítségével. A nitrogéntartalomból a Kjeldahl-faktorral történő szorzással számítható ki a minta fehérjetartalma. Az alkalmazott Kjeldahl – faktor fehérlisztek esetén (sütőipari minőségű búzaliszt, javítóliszt, waxy búzaliszt) 5,7; az élelmi rostban gazdag búzaliszt esetén pedig 6,25.

Alkalmazott anyagok és eszközök

- 4 alapliszt (BL 80, DBL, magas sikértartalmú búzaliszt, waxy liszt)
- Sartorius Balance 61 10 analitikai mérleg
- mikrokanál
- ón fólia
- LECO FP-528 fehérje analízátor

Mérés menete

A 4 különböző lisztből bemértem 0,1-0,2 grammnyi mintát az erre a célra kialakított ón fóliákba. Lisztenként 2-2 párhuzamos mérést végeztem. A lezárt ón fóliákat a berendezés mintatartójába helyeztem, a megfelelő paraméterek beállítása után elindítottam a mérést, amit az automata mérőműszer végzett el. A hővezetőképesség méréséből kalibráció segítségével határoztam meg a nitrogén-tartalmat. Kétpontos kalibrációt végeztem ismert nitrogén-tartalmú standard alkalmazásával.

3.3.1.4 Nyerszsírtartalom meghatározása

Mérés elve

A nyerszsírtartalmat automatizált SOXTEC-berendezésben határoztam meg a MSZ EN ISO 11085:2015 szabvány alapján. Az eljárás során a víz-, és peroxidmentes oldószer (hexán) melegítés hatására elpárolog, a refluxhűtő elérve lekondenzál és átfolyik a mintát tartalmazó extrakciós hüvelyen, ezzel kivonja a minta apoláris oldószerben (hexán) oldódó komponenseit (mono-, di-, trigliceridek, D és E vitamin). A minta kezdeti-, valamint az oldószer átdestillálása után kapott maradék tömegének különbségéből következtetünk a nyerszsír-tartalomra.

Alkalmazott anyagok és eszközök

- 4 alapliszt (BL 80, DBL, magas sikértartalmú búzaliszt, waxy liszt)

- Sartorius Balance 61 10 analitikai mérleg
- extrakciós hüvely, extraháló kupa
- vatta
- n-hexán 96% (Molar Chemicals Kft.)
- SOXTEC SYSTEM HT 1043 Extraction Unit extrakciós berendezés
- szárítószekrény (MLW WS 50)
- exsikkátor

Mérés menete

Analitikai mérlegen megmértem az üres kupák tömegét (W_2). A 4 különböző lisztből, lisztenként 2-2 papírhüvelybe bemértem megközelítőleg 1 g mintát (W_1), ezt vattával lefedtem, majd a berendezésbe helyeztem. Az extraháló kupákba 30 ml hexánt öntöttem. Az extrakció két lépésben zajlott. Először 20 percig 155 °C-on meleg extrakciót végeztem, a folyamat során a papírhüvelyek belemerültek a kupákban, így a minta közvetlenül érintkezett a forró oldószerrel. Második lépésként 40 percen át tartó hideg extrakciót végeztem, mely során az extrakció hüvelyek nem voltak benne kupákban, így a minta a lekondenzált oldószerrel érintkezett. Extrakció után az oldószert ledesztilláltam, a maradékot pedig 30 percen át 105 °C-os szárítószekrényben szárítottam. A visszamaradt anyagot exsikkátorban hűtöttem le, majd megmértem a tömegét (W_3). A kezdeti és véső tömegek különbsége alapján a minták nyerszsír tartalmát az alábbi képlettel számoltam ki:

$$\text{Nyerszsír (\%)} = \frac{W_3 - W_2}{W_1} * 100\%$$

ahol, W_1 a bemért minta tömege [g], W_2 a kupa tömege a mérés előtt [g], W_3 pedig a kupa és a minta maradékának tömege a mérés után [g].

3.3.1.5 Élelmirost tartalom meghatározása

Mérés elve

Az élelmirostok meghatározását az AOAC 991.43 szabvány szerint végeztem el. Az élelmirostok ellenállnak az emberi emésztőenzimeknek. Azon komponensek adják az élelmirostok mennyiségét, melyek a mérés során alkalmazott enzimek (α -amiláz, proteáz, amiloglikozidáz) hatására nem bomlanak el. Az enzimes kezelés, lipideltávolítás, fehérje-, és hamukorrektúra után visszamaradó összetevők összesége az élelmi rost. Az alkoholos kicsapás előtti szűréssel az oldható és oldhatatlan rostok elválaszthatók, mennyiségük külön-külön meghatározható.

Alkalmazott anyagok és eszközök

- 4 alapliszt (BL 80, DBL, magas sikértartalmú búzaliszt, waxy liszt)
- Sartorius Balance 61 10 analitikai mérleg
- főzőpohár, mérőhenger, mikrokanál
- automata pipetta
- exszikkátor
- alumínium fólia
- műanyag inkubációs flaskák
- üvegszűrők
- vízsugárszivattyú
- FOSS-Tecator készülék vízfürdővel, FIBERTEC SYSTEM M: 1020 HOT Extraktor és 1021 Cold Extraktor
- PRECISION pH METER, OP-205/1 típusú
- szárítószekrény (MLW WS 50)
- izzító kemence (DENKAL 4-K/1100)
- desztillált víz
- Celite (FOSS)
- 96 %-os etanol (Molar Chemicals Kft)
- 78 %-os etanol
- aceton (Molar Chemicals Kft)
- MES (Sigma M8250)
- TRIS (Sigma 1503)
- enzimkit (Megazyme Total Dietary Fibre Assay Kit, MegK-TDFR-200A)
- 0,561 N sósav
- pH pufferek

Oldatok

- MES/TRIS puffer: 1,7 l víz, 19,52g MES és 14,2 g TRIS oldatát készítettem el. A pH 8,2-re állítása után az oldatot desztillált vízzel 2 l-re hígítottam.
- 78 %-os etanol: 812,5 ml 96%-os etanolt hígítottam desztillált vízzel egy 1 l-es mérőlombikban.
- 0,561 N sósav: 56,1 ml tömény (37%-os) sósavat hígítottam desztillált vízzel 1 l-re.

Mérés menete

Az üvegszűrőkbe analitikai mérlegen bemértem 1 g celitet, majd szárítószekrényben kiszárítottam. A 4 különböző lisztből 1-1 grammot a műanyagflaskákba mértem, majd 40 ml MES/TRIS puffert és 50 µl α-amiláz enzimet adtam hozzá. Az alufóliával letakart flaskákat 35 percre 80 °C-os vízfürdőbe helyeztem. Az idő lejártá után a mintákat és a vízfürdőt is egyaránt 60 °C-ra hűtöttem. Az oldatokhoz 100 µl proteáz enzimet pipettáztam és a 60 °C-ra hűtött vízfürdőbe helyeztem 30 percre. 30 perc után az oldatokhoz 5 ml 0,561 N sósavat adtam, 4,14,8 közötti tartományba állítottam a pH-t. A mintákat 200 µl amiloglükózidáz enzim adagolása után visszahelyeztem a 60°C-os vízfürdőbe, újabb 30 percre.

Az oldhatatlan élelmi rostok meghatározásához az oldatokat az első lépésben elkészített celitágyon leszűrtem, a csapadékot kétszer átmostam 10-10 ml előre felmelegített desztillált vízzel, majd még kétszer 96 %-os etanollal, végül pedig acetonnal is. A szűrőket egy éjszakán át 105 °C-os szárítószekrényben szárítottam, majd exsikkátorban hagytam kihűlni. Az átmosások után visszamaradt, kiszárított csapadék az oldhatatlan élelmirost frakció.

A celitágyas szűréskor keletkező szűrlet tartalmazza az oldható élelmirost frakciót. Ennek a meghatározására a szűrlethez 210 ml előre felmelegített etanol oldatot adagoltam az oldható rostok kicsapása céljából. A reakció lejátszódása érdekében mintát 1 órára félretettem. Az idő lejártá után az oldatot újból celitágyon szűrtem. A csapadékot kétszer átmostam 15 ml 78 %-os, majd újból kétszer 15 ml 96 %-os etanollal, majd acetonnal is. A szűrőket szintén egy éjszakára 105 °C-os szárítószekrénybe helyeztem. Az oldható és oldhatatlan frakciók esetén is meghatároztam a minta fehérje tartalmát Kjeldahl-módszerrel, valamint a hamutartalmát. Ezekkel az értékekkel korrigáltam a rosttartalom mérés eredményét. Az élelmirost-tartalmat az alábbi képletek segítségével határoztam meg:

$$B = \frac{BR_1 + BR_2}{2} - P_B - P_A$$

ahol, B a vak végső értéke, BR₁ és BR₂ a két vak értéke, P_B: a vak fehérjetartalma, P_A: a vak hamutartalma

$$\text{Élelmirost [\%]} = \frac{\frac{R_1 + R_2}{2} - P - A - B}{\frac{M_1 + M_2}{2}} * 100\%$$

ahol, R₁ és R₂ a két maradék értéke, P: a mért fehérjetartalom, A: a mért hamutartalom

3.3.1.6 Nedvessikér-tartalom meghatározása

Mérés elve

Osborne-farkcionálás alapján a fehérjéket oldhatóság szerint öt csoportba soroljuk. A sikért alkotó gliadinok (prolamin) és gluteninek (glutelin), alkoholban, illetve híg savban vagy lúgban oldható fehérjék. A méréshez használt 20%-os sóoldatban – a sikérfehérjéken kívül – oldódnak a lisztet felépítő komponensek, vagyis sóoldat segítségével a sikér elválasztható a liszt többi összetevőjétől. A sóoldatos mosás végén visszamaradó anyag adja a liszt nedvessikér-tartalmát.

Alkalmazott anyagok és eszközök

- 4 alapliszt (BL 80, DBL, magas sikértartalmú búzaliszt, waxy liszt)
- táramérleg
- bemérőcsónak, kanál
- analitikai tisztaságú NaCl (Molar Chemicals Kft.)
- desztillált víz
- 5 literes mérőlombik
- automata pipetta
- sikérmosó készülék (Perten, Glutomatic Gluten Index)

Mérés menete

Elkészítettem a méréshez szükséges NaCl-oldatot, ehhez táramérlegen kimértem 100 g NaCl-ot, amit egy 5 literes mérőlombikba öntöttem, majd jelig töltöttem desztillált vízzel. Az oldatot homogenizáltam, csak azután használtam, miután a NaCl már teljesen feloldódott. A négy alapliszt mindegyikéből 2-szer megközelítőleg 10 grammot (W_1) mértem ki, melyeket a sikérmosó két, alul lyukacsos, szűrővel ellátott csészéjébe öntöttem. A lisztekhez 4,8 ml sóoldatot pipettáztam, majd a csészéket készülékbe helyeztem. A START gomb megnyomásával elindítottam a mérést, a készülék automatikusan átmosta a lisztet a megfelelő mennyiségű sóoldattal. A program lefutása után a csészékből kivettem a visszamaradt sikérgolyót és táramérlegen megmértem a tömegét (W_2). A sikértartalmat az alábbi képlettel számoltam ki:

$$\text{nedvessikér – tartalom [\%]} = \frac{W_2}{W_1} * 100\%$$

ahol W_1 a bemért liszt tömege [g] (megközelítőleg 10 g); W_2 a sikérgolyó tömege [g].

3.3.1.7 Amilóz/amilopektin arány meghatározása

Mérés elve

A liszt és a keményítő minden alkotója teljesen feloldható dimetil-szulfoxiddal (DMSO). Az oldatból etanollal a keményítő kicsapható és centrifugával elválasztható az oldattól. A keményítő pellet acetát pufferrel történő visszaoldása után Con-A enzimmel specifikusan kicsapható az amilopektin, ami így elválasztható a felülúszóban visszamaradó amilóztól. Másik Con-A-val nem kezelt mintában az amilóz és amilopektin együttesen oldatban van. A két oldat keményítőtartalmát enzimesen D-Glükóz egységekre bontva, azok egymáshoz viszonyított arányát glükóz oxidáz/peroxidáz reagens (GOPOD) segítségével kolorimetriásan meg lehet határozni, így az amilóz/amilopektin arány számítható.

Alkalmazott anyagok és eszközök

- 4 alapliszt (BL 80, DBL, magas sikértartalmú búzaliszt, waxy liszt)
- Sartorius Balance 61 10 analitikai mérleg
- mérőlombik, kémcső, Eppendorf® mikrocentrifuga csövek
- automata pipetta
- vízfürdő
- vortex keverő (IKA Yellowline Test Tube Shaker TTS2)
- mikrocentrifuga
- spektrofotométer
- Con A enzim
- Amiloglükózidáz és amiláz enzim
- Glükóz-Oxidáz/ Peroxidáz enzim
- GOPOD Reagens puffer
- Tömény Con A oldószer (600 mM, 6.4 pH nátrium-acetát puffer)
- Alkalmazott Con A oldószer: 30ml tömény oldószer 100ml-re hígítva desztillált vízzel
- Nátrium-acetát puffer (100mM, 4.5 pH)
- Dimetil-szulfoxid (DMSO)

Mérés menete

- A rész: Keményítő előkezelése

Analitikai mérlegen bemértem $20\text{--}25\text{ mg} \pm 0,1\text{ mg}$ mintát egy 10 ml-es csavaros kupakos centrifugacsőbe. 1 ml DMSO-t pipettáztam a mintákhoz, miközben óvatosan alacsony sebességgel vortexeltem. A lezárt centrifuga csövet forrásban lévő vízfürdőbe helyeztem, amíg

a minta teljesen diszpergálódott. A mintákat nagy sebességgel vortexeltem, majd forrásban lévő vízfürdőbe helyeztem a csöveket a 15 percre. Ezalatt az idő alatt is elvégeztem néhányszor a vortexelést. A 15 perc letelte után a mintákat szobahőmérsékleten hűtöttem, majd hozzá adtam 2 ml 95% (v/v) etanolt, folyamatos vortexelés mellett. Ezután további 5 ml etanolt adtam a mintákhoz, lezártam a csöveket, majd lefordítva vortexeltem össze őket. A mintákat 15 percig állni hagytam, ezalatt a keményítő kicsapódott. A csöveket centrifugába helyeztem és 2000 g-n 5 percig centrifugáltattam a mintákat. Ezután leöntöttem a felülúszót és papírtörőre helyezve szárítottam a csöveket, addig amíg az összes etanol kifolyt. A visszamaradt keményítő pelletet használtam a későbbi lépésekben az amilóz és keményítő meghatározásokhoz. 2 ml DMSO-t adtam a keményítő pellethez (lassú vortexelés közben), majd a mintákat 15 percre forrásban lévő vízfürdőbe helyeztem (ezalatt is párszor elvégeztem a vortexelést). A vízfürdőt követően egyből hozzáadtam 4ml Con A oldószert a mintákhoz, melyeket összeráztam majd (ismételt Con A oldószerral végzett atmoszással) átöntöttem egy 25 ml-es mérőlombikba. Ezután a lombikot jelig töltöttem Con A oldószerral. Így kaptam meg az „A” oldatot.

- B rész: Az amilopektin kicsapása Con A-val és az amilóztartalom meghatározása

1,0 ml A oldatot helyeztem egy 2,0 ml-es Eppendorf-csőbe. 0,50 ml Con A oldatot adtam hozzá, lezártam a csöveket és homogenizáltam az elegyet. A mintákat 1 órán át hagytam szobahőmérsékleten állni, az 1 óra leteltével 14 000 g-n centrifugáltam 10 percig, mikrocentrifugában szobahőmérsékleten. Centrifugálás után 1 ml felülúszót pipettáztam egy 15 ml-es centrifugacsőbe, adtam még hozzá 3 ml 100 mM-os nátrium-acetát-puffert (pH = 4,5), ami lecsökkentette a pH-t nagyjából 5-re. Homogenizálás után az oldatot lezárt centrifugacsőben forraltam forró vízfürdőben 5 percig a Con A denaturálásához, ezt követően a csöveket 40 °C-os vízfürdőbe helyeztem 5 percre. Hozzáadtam 0,1 ml amiloglukozidáz/ α -amiláz enzimkeveréket, és 40 °C-on 30 percig inkubáltam a mintákat. Inkubálást követően centrifugáltam a csöveket 2000 g-n 5 percig. A felülúszó 1,0 ml-es részleteihez 4 ml GOPOD reagenst adtam, majd újabb inkubálást végeztem, 40 °C-on 20 percig. Ezzel egyidejűleg inkubáltam a Vak Oldatot és a D-glükóz kontrollt is. A Vak Oldat előállításához 1,0 ml 100 mM-os nátrium-acetát pufferhez adtam 4,0 ml GOPOD reagenst. A D-glükózkontroll (duplikátum) 0,1 ml D-glükóz-standard oldatot (1 mg / ml), 0,9 ml nátrium-acetát-puffert és 4,0 ml GOPOD reagenst tartalmazott.

- C rész: Teljes keményítőtartalom meghatározása

Összekevertem 0,5 ml A oldatot és 4 ml 100 mM nátrium-acetát puffert (pH = 4,5). Hozzáadtam 0,1 ml amiloglikozidáz / α -amiláz oldatot és inkubáltam az elegyet 40 °C-on 10 percig. Az oldat 1,0 ml-es részleteit üveg kémcsövekbe adagoltam, majd mindegyikhez 4 ml GOPOD reagenst adtam, és homogenizáltam az elegyeket, amiket aztán inkubáltam 40 °C-on 20 percig. Ezt az inkubálást a B részben szereplő mintákkal és standardokkal egyidejűleg végeztem el. Megmértem az összes minta és a D-glükóz kontroll abszorbanciáját 510 nm-en. Az abszorbanciák alapján az amilóztartalmat az alábbi képletek segítségével számoltam:

$$\begin{aligned} \text{amilóztartalom [W/W \%]} &= \frac{\text{abszorbancia (Con A felülúszó)}}{\text{abszorbancia (teljes keményítő oldat)}} * \frac{6,15}{9,21} * 100 \\ &= \frac{\text{abszorbancia (Con A felülúszó)}}{\text{abszorbancia (teljes keményítő oldat)}} * 66,8 \end{aligned}$$

ahol a 6,15 és 9,21 a Con A és a teljes keményítő hígítási faktorait jelölik.

3.3.2 Reológiai vizsgálatok

3.3.2.1 Viszkózus tulajdonságok vizsgálata gyors viszkoanalizátor (Rapid Visco Analyzer – RVA) készülékkel

Mérés elve

A mérést az ICC Standard Method Nr-162 szabvány alapján végeztem. Az RVA a rotációs viszkoziméterek családjába tartozik. A készülék egy 13 perces program során a sütés hőfokprofilját modellezi, 50 °C-ról indulva a felfűtési szakaszban 90 °C-ra melegíti a liszt-víz rendszert, ezt követi a hõn tartás, végül pedig a visszahûtés szakasza. A hõmérséklet változásával a keményítõ szerkezete is változik, elõször elcsirizesedik, majd elfolyósodik, végül újra rendezõdik a szerkezete a retrogradáció folyamata során. A szerkezet átalakulásából adódóan a viszkozitás is megváltozik.

Alkalmazott anyagok és eszközök

- 4 apliszt (BL 80, DBL, magas sikértartalmú búzaliszt, waxy liszt), 2 lisztkeverék (BL 80 – DBL 70:30, BL 80 – waxy liszt 70:30)
- Sartorius Balance 61 10 analitikai mérleg
- bemérõcsónak, kanál
- desztillált víz
- fémtégely, mûanyag keverõlapát
- RVA berendezés (Newport Scientific RVA 4SA)

Mérés menete

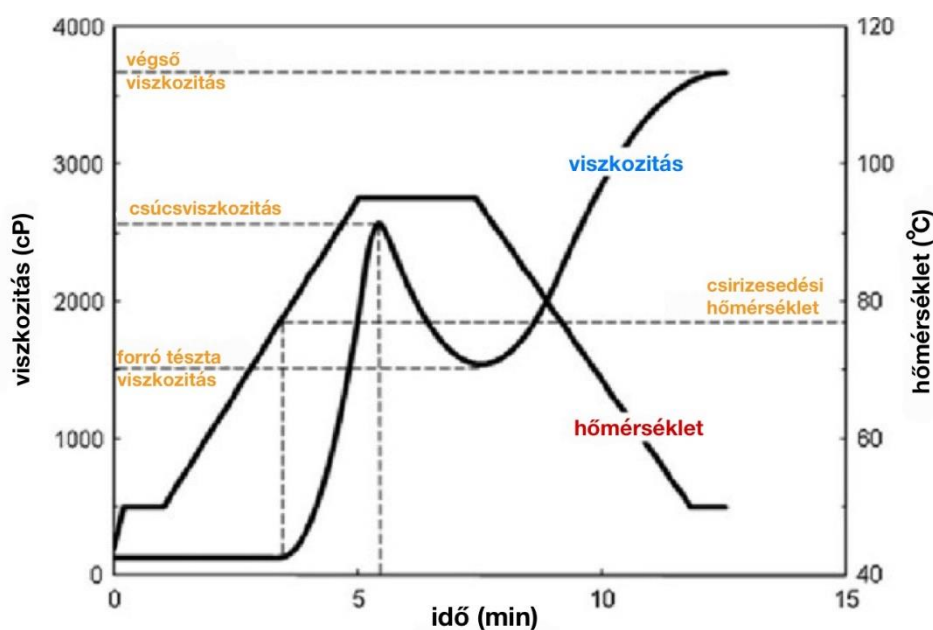
A méréshez szükséges minta mennyiségét az alábbi képlettel számoltam ki:

$$M_2[g] = \frac{(100\% - 14\%) * M_1}{100\% - w_1}$$

ahol: M_2 a méréshez szükséges minta tömege [g], M_1 : 3,5 gramm, w_1 a minta nedvességtartalma [%]. A kiszámított mintamennyiséget analitikai mérlegen bemérőcsónakba mértem, majd a fémtégelybe töltöttem és 25 ml desztillált vizet adtam hozzá. A műanyag keverőelem segítségével homogén szuszpenziót hoztam létre. A tégelyt a keverőelemmel együtt a műszerbe helyeztem és a készülék jelzésére a fűtőblokkba nyomtam. A 13 perces program lefuttatása után a mérés automatikusan leállt.

Meghatározható paraméterek

A RVA által kirajzolt görbe sematikus változatát az 9. ábra tartalmazza, a görbe alapján meghatározható paramétereket a 3. táblázatban foglaltam össze.



9. ábra: A RVA mérésre jellemző lefutású görbe a meghatározható paraméterek szemléltetésével (Rayner et al., 2016)

3. táblázat: A RVA-el mérhető paraméterek meghatározási módja, értelmezése (Balet et al., 2019)

Paraméter	Meghatározás módja	Értelmezés
csirizedési hőmérséklet [°C]	az a hőmérséklet, ahol a viszkozitás hirtelen emelkedni kezd	a keményítő szemcsék melegítés hatására duzzadni kezdenek, megindul a gélesedés
csúcsviszkozitás [cP]	a felfűtés szakaszában mért legnagyobb viszkozitás	a keményítőszemcsék maximálisra duzzadt állapotában a legerősebb a gélszerkezet
csirizedési idő [min]	az az idő, ami a csúcsviszkozitás eléréséhez szükséges	-
forró tészta viszkozitása [cP]	a hűtési szakasza alatt mérhető legalacsonyabb viszkozitás	a keményítőszemcsék megolvadnak
visszaesés [cP]	a csúcsviszkozitás és a forró tészta viszkozitásának különbsége	-
végso viszkozitás [cP]	a viszkozitás értéke a mérés végén	a hűtési fázis során megindul a retrogradáció, a végso hűtési szakasza alatt is nő a viszkozitás

3.3.2.2 Dagasztási tulajdonságok vizsgálata Micro-DoughLAB készülékkel

Mérés elve

A micro-DoughLAB – a farinográfhoz – hasonlóan két olyan Z-alakú keverőkart tartalmaz, amik forgása a tésztagyúrás és dagasztás folyamatát modellezi. Ebből kifolyólag a készülékkel a fehérjétől függő dagasztási tulajdonságok vizsgálhatók. A cél az 500 ± 15 FU, mint optimális konzisztencia elérése. A mérés során meghatározható a vízabszorpció, a tésztakialakulási idő, a maximális konzisztencia, a stabilitás és az ellágyulás is.

Alkalmazott anyagok és eszközök

- 4 alapliszt (BL 80, DBL, magas sikértartalmú búzaliszt, waxy liszt), 2 lisztkeverék (BL 80 – DBL 70:30, BL 80 – waxy liszt 70:30)
- Sartorius Balance 61 10 analitikai mérleg
- bemérőcsónak, kanál
- desztillált víz
- micro-DoughLAB készülék (Newport Scientific, DLW v1.4.1.234)

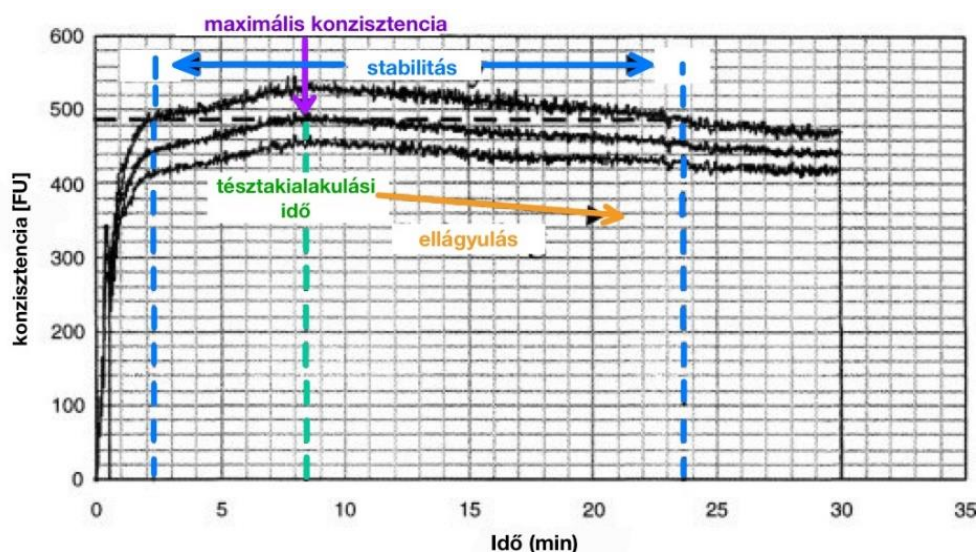
Mérés menete

A készülék szoftvere a liszt nedvességtartalma alapján kiszámította a méréshez szükséges minta mennyiségét, amit analitikai mérlegen mérőcsónakba mértem, majd a készülék dagasztócsészéjébe öntöttem. A készülék 1 perc előkeverés után hozzáadta a mintához – az előzetesen megadott vízabszorpció alapján kiszámított – szükséges mennyiségű desztillált

vizet. A csésze falára tapadt tésztát spatula segítségével visszaadagoltam a mintához, majd egy műanyag lemezzel lefedtem a csészét, hogy a tészta ne száradjon ki a mérés ideje alatt. Ezt követően hagytam lefutni a 22 perces programot, mely során a hőmérséklet (30 °C) és a keverő fordulatszáma (63 rpm) is konstans volt.

Meghatározható paraméterek

A micro-DoughLAB által kirajzolt görbe sematikus változatát a 10. ábra tartalmazza, a görbe alapján meghatározható paramétereket a 4. táblázatban foglaltam össze.



10. ábra: A micro-DoughLAB mérésre jellemző lefutási görbe a meghatározható paraméterek szemléltetésével (Bason et al., 2005)

4. táblázat: A micro-DoughLAB-bal mérhető paraméterek és meghatározásuk

Paraméterek	Meghatározás módja
maximális konzisztencia [FU]	a konzisztencia legmagasabb értéke a teljes mérés során (500 ± 15 FU tartományban elfogatható)
vízabszorpció [%]	az a százalékban kifejezett vízfelvételi érték, amivel a tészta konzisztenciája az 500 ± 15 FU tartományba kerül
tésztakialakulási idő [min]	az az idő, ami alatt a konzisztencia eléri a maximális értékét
stabilitás [min]	az az idő, az 500 FU elérésétől számítva, amíg a konzisztencia nem csökken 500 FU alá
ellágyulás [min]	a mérés végén mérhető konzisztencia eltérése az 500 FU-tól

3.3.2.3 Dagasztási és viszkózus tulajdonságok komplex jellemzése Mixolab készülékkel

Mérés elve

A Mixolab a komplex lisztminősítés lehetőségét biztosítja. A mérés elején a fehérjétől függő dagasztási tulajdonságok (vízfelvétel, tésztakialakulás ideje, stabilitás) mérhetők. Majd a sütés hőfokprofiljának modellezésével a keményítőtől függő viszkózus tulajdonságok (gélesedés, elfolyósodás, retogradáció) is vizsgálhatók tészta rendszerben. A mérést a MSZ EN ISO 17718:2015 szabvány alapján hajtottam végre.

Alkalmazott anyagok és eszközök

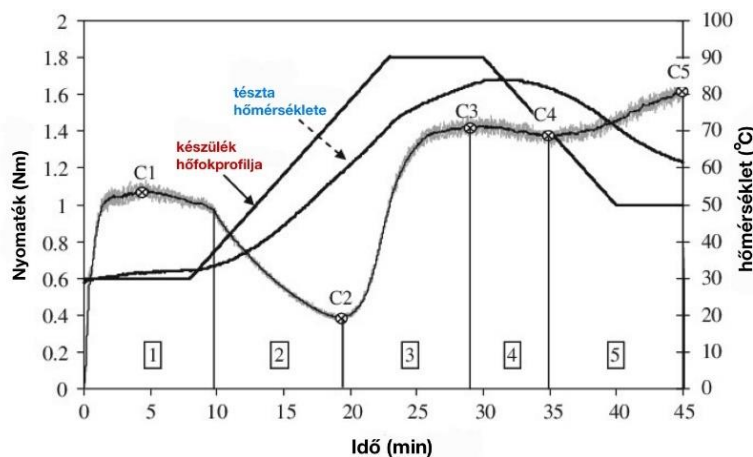
- 4 alapliszt (BL 80, DBL, magas sikértartalmú búzaliszt, waxy liszt), 2 lisztkeverék (BL 80 – DBL 70:30, BL 80 – waxy liszt 70:30)
- táramérleg
- kanál, bemérőcsónak
- ecset
- Mixolab készülék (Chopin, Villeneuve-la-Garenne, Franciaország)

Mérés menete

A készülékhez tartozó szoftver a lisztnek nedvességtartalma és vízabszorpciós érték alapján kiszámolta a méréshez szükséges liszt tömegét. Táramérlegen bemértem a szükséges mintamennyiséget, amit a dagasztócsészébe öntöttem. A mérés elindítása után a készülék automatikusan beadagolta a szükséges mennyiségű vizet, majd lefuttatta a 45 perces programot.

Nevezetes pontok és meghatározható paraméterek

A Mixolab által kirajzolt görbe sematikus változatát a 11. ábra szemlélteti, a görbe alapján meghatározható paramétereket a 5. táblázat és 6. táblázat tartalmazza.



11. ábra: A Mixolab mérésre jellemző lefutású görbe a meghatározható paraméterek szemléltetésével (Ozturk et al., 2008)

5. táblázat: A Mixolabbal meghatározható paraméterek és magyarázatuk (Dubat & Boinot, 2012)

Nevezetes pontok	Magyarázat	Kapcsolódó paraméterek
C1 forgatónyomaték [Nm]	vízabszorpció megállapítására használható	T_1 [°C] és t_1 [min]
C2 forgatónyomaték [Nm]	a fehérje hálózat gyengülésének mérése a mechanikai munka és hőmérséklet függvényében	T_2 [°C] és t_2 [min]
C3 forgatónyomaték [Nm]	a keményítő csirizesedésének mérése	T_3 [°C] és t_3 [min]
C4 forgatónyomaték [Nm]	forró gél stabilitásának mérése	T_4 [°C] és t_4 [min]
C5 forgatónyomaték [Nm]	retrogradáció mérése a hűtési szakasz alatt	T_5 [°C] és t_5 [min]

a különböző nyomatékok elérésekor mérhető tészta hőmérséklet (T) és idő (t)

6. táblázat: A Mixolabbal mérhető paraméterek meghatározási módja (Dubat & Boinot, 2012)

Paraméter	Meghatározás módja	Magyarázat
vízabszorpció [%]	az a vízmennyiség, ami a C1 = $1,1 \pm 0,05$ Nm eléréséhez szükséges	konstans hőmérsékleten adott konzisztencia eléréséhez a liszt által abszorbeált víz mennyisége
C1 idő [min]	az az idő, ami a C1 forgatónyomaték eléréséhez szükséges	tulajdonképpen a tésztakialakulási időt jelenti, minél nagyobb a fehérjetartalom és jobb a sikerminőség, annál hosszabb a tészta kialakulásához szükséges idő
stabilitás [min]	az az idő, konstans hőmérsékleten, amíg a forgatónyomaték nem csökken a C1 – 11% érték alá	a tészta dagasztással szembeni ellenállását mutatja, minél hosszabb a stabilitás ideje annál erősebb a liszt

3.3.3 Kenyérsütési protokoll

Mérés elve

A szükséges liszt mennyiségét – standard kenyérsütési protokollnak (Németh et al., 2018) megfelelően – a nedvességtartalom alapján meghatározva, a többi összetevőt ehhez arányosítva, a dagasztást tésztakialakulási időig végezve, majd az előállítási lépéseket (kelesztés, sokkolás, fagyasztva tárolás, sütés) azonos körülmények között végrehajtva a végtermékek összehasonlíthatók lesznek.

Alkalmazott anyagok és eszközök

- 2 alapliszt (BL 80, magas sikértartalmú búzaliszt), 2 lisztkeverék (BL 80 – DBL 70:30, BL 80 – waxy liszt 70:30)

- élesztő (Lipóti Pékség)
- kovász starter kultúra (Lipóti Pékség)
- sokkolt termékekhez alkalmazott adalékanyag (Lipóti Pékség)
- élelmiszeripari minőségű só
- desztillált víz
- táramérleg
- bemérőcsónak, kanál
- automata pipetta
- farinográf (Brabender Farinograph-E, Brabender, Duisburg, Germany)
- inkubátor (Faithful HWS-70B)
- sütő (Wiesheu, Minimat 2 IS 500 links)
- sokkoló (Ferrara Cool GN1/1)
- no-frost mélyhűtő (Liebherr GN 50Vd26)

Mérés menete

Három különböző eljárást alkalmaztam, készítettem (hagyományos) egyből készre sütött-, sütés nélkül, vagy elősütés után sokkolt és fagyasztva tárolás után készre sütött kenyeret is. A sokkolt termékek minősítésének módszertanát az alapmódszer alapján, azt módosítva és az ipari gyakorlatot figyelembe véve alakítottam ki. Terjedelmi korlátok miatt a módszerek között mutatom be, ugyanakkor a fejlesztőmunkám eredményeként is értelmezhető.

A kenyerek elkészítése előtt kovászt készítettem, amihez a Lipóti Pékség által kapott starter kultúrát, valamint lisztet, és desztillált vizet használtam. A pontos recept a Lipóti Pékség tulajdona, így azt nem teszem közzé a dolgozatomban. Az alapanyagok kimérése után homogén szuszpenziót készítettem, melyet alufóliával lefedett főzőpoharakban 30 fokos szárítószekrényben tároltam a kenyérkészítést megelőző 27 órában.

Az **egyből készre sütött** kenyerek esetén először az alábbi képlet alkalmazásával kiszámítottam a szükséges lisztmennyiséget (megközelítőleg 50 gramm):

$$m [g] = \frac{100\% - 14\%}{100\% - w_1} * 50g$$

ahol, m a szükséges lisztmennyiség [g], w_1 a liszt(keverék) nedvességtartalma [%]. A liszt tömegének megfelelő arányban – a Lipóti Pékség által kapott recept alapján – kiszámoltam a többi hozzávaló (élesztő, kovász, víz, só, adalékanyag) mennyiségét. A recept a Lipóti

Pékség tulajdona, így pontos megadása ipari titkokat sértene. Az alapanyagok kimérése után a száraz hozzávalókat (liszt, só, adalékanyag) a farinográfba helyeztem és 5 perces előkeverést alkalmaztam homogenizálás céljából. Az 5 perc letelte után a többi alapanyagot (élesztő, víz, starter kultúrából előre elkészített kovász) is hozzáadtam a keverékhez, és a tésztát a micro-DoughLAB segítségével meghatározott tésztakialakulási időig dagasztottam. Dagasztás után a tésztát beolajozott, sütőpapírral kibélelt formába tettem és 60 percen át kelesztettem az inkubátorban (31 °C és 80 %-os relatív páratartalom mellett). Ezután 220 °C-ra előmelegített sütőben, a sütési protokoll elején gőzbevezetéssel, 15 perc alatt készre sütöttem a kenyeret. Az elkészült kenyereket még melegen kivettem a formából és 1 órán át hagytam hűlni a végtermék minősítés előtt.

A **sütés nélkül sokkolt** kenyerek előállítása a kelesztés folyamata után válik el a hagyományos módszertől. Kelesztés után a tésztát -35 °C-ra beállított sokkolóba helyeztem 40 percre, ezalatt a tészta maghőmérséklete elérte a -8 °C-ot. Sokkolás után a tésztát légmentesen zárható, feliratozott műanyag tasakba tettem és a -22 °C-ot tartó mélyhűtőben tároltam sütésig. Sütés előtt a fagyasztott tésztát beolajozott, sütőpapírral kibélelt formában, 45 percre az inkubátorba helyeztem (31 °C, 80% relatív páratartalom), hogy kiengedjen, majd a 220 °C-ra előmelegített sütőben, a sütési protokoll elején gőzbevezetéssel, 15 perc alatt készre sütöttem a kenyeret.

Az **elősütés után sokkolt** kenyerek előállítása sütés nélkülihez képest abban különbözik, hogy kelesztés után a tésztákat a 220 °C-ra előmelegített sütőben a teljes sütési idő 2/3-a (10 perc) alatt elősütöttem. Elősütés után következett a sokkolás, mélyhűtve tárolás, majd a kiengedés sütés előtt. Ezek a lépések megegyeznek a sütés nélkül sokkolt termékek előállításánál leírtakkal. A végső sütés ebben az esetben csak 5 percet vett igénybe, melyet ugyancsak 220 °C-on, a sütés kezdetekor gőzbevezetéssel végeztem.

3.3.4 Végtermékminősítés

3.3.4.1 Sütési veszteség meghatározása

Mérés elve

A tésztából sütés során víz és egyéb illó komponensek távoznak a magas hőmérséklet miatt, ezért a tészta tömege csökken a sütés alatt. A tészta kezdeti és a kenyér végső tömegének különbségéből számítható a sütési veszteség (Farkas et al., 2023).

Alkalmazott anyagok és eszközök

- táramérleg

- hagyományos eljárással készült/sokkolt/sokkolt és elősütött kenyerek

Mérés menete

Dagasztás után táramérlegen megmértem az elkészült tészta tömegét (W_1), ugyanezt megtettem az elkészült kenyerekkel is (1 órás hűlési időt követően; W_2). Az alábbi képlettel számítottam a sütési veszteséget:

$$\text{sütési veszteség [\%]} = 100\% - \frac{W_1}{W_2} * 100\%$$

ahol, W_1 a tészta tömege dagasztás után [g], W_2 az elkészült kenyér tömege [g].

3.3.4.2 Fajlagos térfogat meghatározása

Mérés elve

A kenyér térfogatának meghatározása hagyományosan magkiszorításos módszerrel történik, azonban a módszer pontatlan, a kisebb, laborvizsgálatok során előállított kenyerek esetén. Ennek kiküszöbölése érdekében a térfogat lézerrel is meghatározható (Farkas et al., 2023), a lézer minden irányból körbe pásztázza a kenyér felületét, ebből pedig megadja a térfogat értékét. A térfogat alapvetően függ a felhasznált alapanyagok mennyiségétől, a fajlagos térfogat viszont – a tömeggel való osztás miatt – már összehasonlítható a kenyerek tömegétől függetlenül.

Felhasznált anyagok és eszközök

- táramérleg
- hagyományos eljárással készült/sokkolt/sokkolt és elősütött kenyerek
- lézer (Perten, BVM 6600)

Mérés menete

Az elkészült kenyerek tömegét 1 órás hűlés után táramérlegen megmértem. A lézert 30 perccel a mérés előtt bekapcsoltam, hogy bemelegedjen és ne legyen nagy a szórás a párhuzamos mérések között. A kenyeret a lézer tartószerkezetére helyeztem, és elindítottam a megfelelő programot, mely során a tartószerkezet 60-szor megforgott, ezalatt a lézer körbe pásztázta a kenyér teljes felületét. A fajlagos térfogatot a kenyér tömege és térfogata alapján az alábbi képlettel számoltam:

$$\text{fajlagos térfogat [cm}^3/\text{g]} = \frac{V}{m}$$

ahol V a kenyér térfogata [cm^3], m a kenyér tömege [g].

3.3.4.3 Bélzet szerkezetének digitalizálása

A mérés elve

Scanner segítségével olyan kép készíthető, ami a további képanalízishez megfelelő felbontásban (600 dpi) valósághűen visszaadja a bescannelt szeletek küllemét, beleértve a héj és a bélzet színét, a szeletek nagyságát, a bélzet lyukacsosságát. Azonos méretarányú képeket egymás mellé téve, a szeletek szemrevételezéssel összehasonlíthatók.

Alkalmazott anyagok és eszközök

- hagyományos eljárással készült/sokkolt/sokkolt és elősütött kenyerek
- forgó pengés szeletelő (Bosch)
- lezárható műanyag doboz
- scanner (HP C4680)

A mérés menete

Egy kenyérből egyszerre 3 szeletet tettem a scannerbe, olyan szeleteket választottam, amelyek a fent említett tulajdonságok tekintetében legjellemzőbbek voltak az adott kenyér egészére. A scanner által készített előzetes képet minden minta esetén azonos, 10 cm x 21 cm méretűre vágtam, majd megfelelő méretű végleges képet is elmentettem.

3.3.4.4 A bélzet állományvizsgálata

Mérés elve

Az állományvizsgálat azon alapszik, hogy a TPA készülék a mintát kétszer egymás után összenyomja, gyakorlatilag a rágás folyamatát modellezve. A kétszeri összenyomás tehát információt ad arról, hogy hogyan viselkednek a minták rágás közben (Farkas et al., 2023).

Alkalmazott anyagok és eszközök

- hagyományos eljárással készült/sokkolt/sokkolt és elősütött kenyerek
- forgó pengés szeletelő (Bosch)
- lezárható műanyag doboz
- kör alakú kiszűrő
- TPA (Texture Profile Analyzer, (TA-XT plus, Stable Micro Systems, Godalming, Surrey, UK) készülék

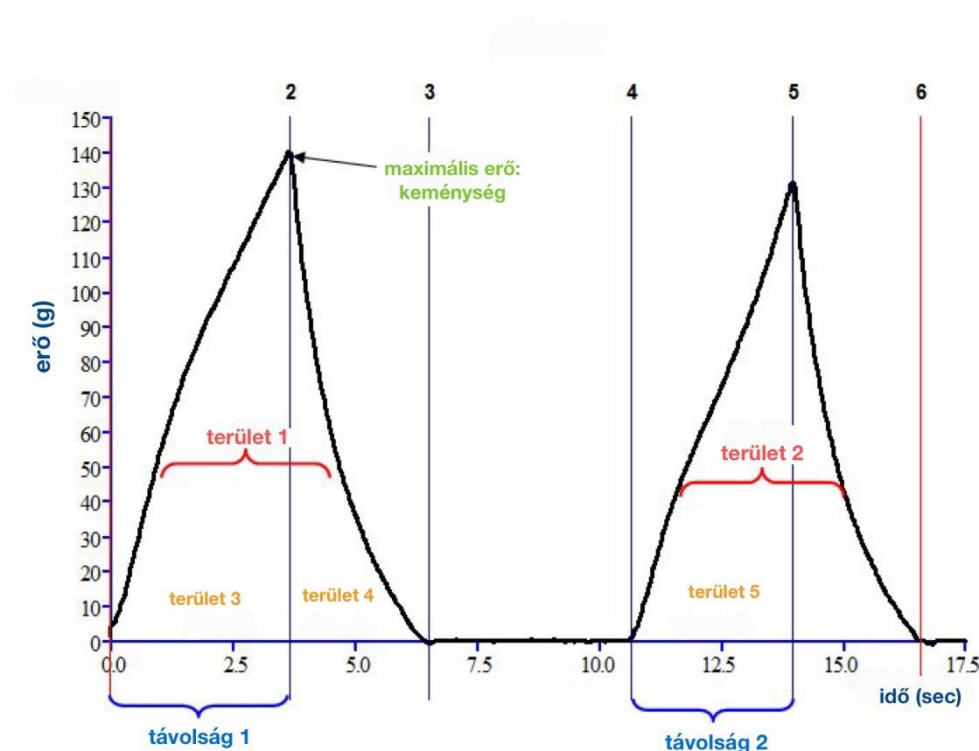
Mérés menete

Sütés után egy órával (hűlési idő) a kenyereket forgó pengés szeletelő segítségével 1 cm vastagságú szeletekre vágtam, minden szeletet lezárt műanyag dobozban tároltam a mérés

elvégzéséig. A TPA készülék kalibrálása után egy szeletet elővettem a dobozból, a közepét egy kör alakú kiszúróval kiszúrtam, majd a kapott korongot a készülékbe helyeztem és lefuttattam a kétszeri összenyomást. Minden kenyér estében 5 szelettel végeztem el a mérést.

Meghatározható paraméterek

A TPA által kirajzolt görbék sematikus változatát a 12. ábra tartalmazza, a görbék alapján meghatározható paramétereket a 7. táblázatban foglaltam össze.



12. ábra: A TPA mérésre jellemző lefutású görbe a meghatározható paraméterek szemléltetésével (Johnson, 2015)

7. táblázat: A TPA-val mérhető paraméterek és meghatározási módjuk (Johnson, 2015)

Paraméterek	Meghatározás módja
keményység [g]	az első összenyomáshoz szükséges erő maximuma
rugalmasság [-]	a termék mennyire áll vissza az eredeti alakjára (magasságára) összenyomás után; a korong második és első összenyomása során mért magasságának hányadosa: $\text{távolság 2} / \text{távolság 1}$
kohézió [-]	a termék mennyire bírja a második deformitást az elsőhöz képest; a második és az első összenyomáshoz szükséges munka hányadosa: $\text{terület 1} / \text{terület 2}$
ruganyosság [-]	a termék mennyire akarja visszanyerni az eredeti alakját (nyomja vissza a műszert); a műszer fel-, és lefelé mozgásához szükséges munka hányadosa az első összenyomás során: $\text{terület 4} / \text{terület 3}$

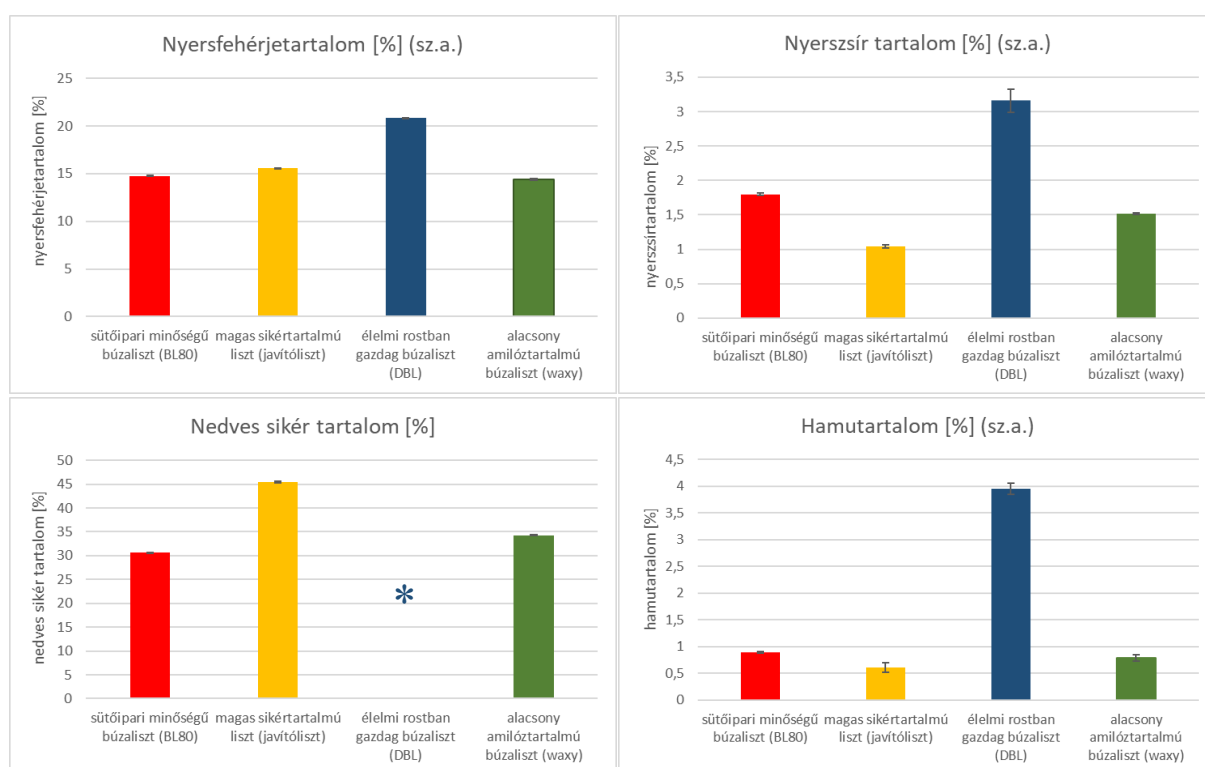
3.3.5 Statisztika elemzés

A párhuzamos mérésekből átlagot és szórást számoltam Excel segítségével. A minták összehasonlítását One-way ANOVA segítségével valósítottam meg Tukey's HSD tesztet 0,05 szignifikancia szint mellett. A módszer validálás során a napokon belüli és napon közötti összehasonlítást Repeated Measures ANOVA segítségével hajtottam végre Tukey's HSD tesztet 0,05 szignifikancia szint mellett. Mindkét elemzést TIBCO Statistica™ 13.5.0 (TIBCO Software Inc., USA) szoftverrel készítettem el.

4. Eredmények és kiértékelés

4.1 Beltartalmi összetétel

A beltartalmi méréseket a négy alaplisztre végeztem el, a lisztkeverékek beltartalmi értékeit az alaplisztok eredményeiből az adagolás arányának megfelelően számoltam. A mérési eredményeket a nedvességtartalom ismeretében átszámoltam szárazanyagtartalomra. Az alaplisztok beltartalmi értékeit oszlopdiagramokon ábrázoltam (13. ábra, 14. ábra, 15. ábra) a paraméterek pontos értékeit a függelékben lévő táblázatban tüntettem fel (1. függelék)

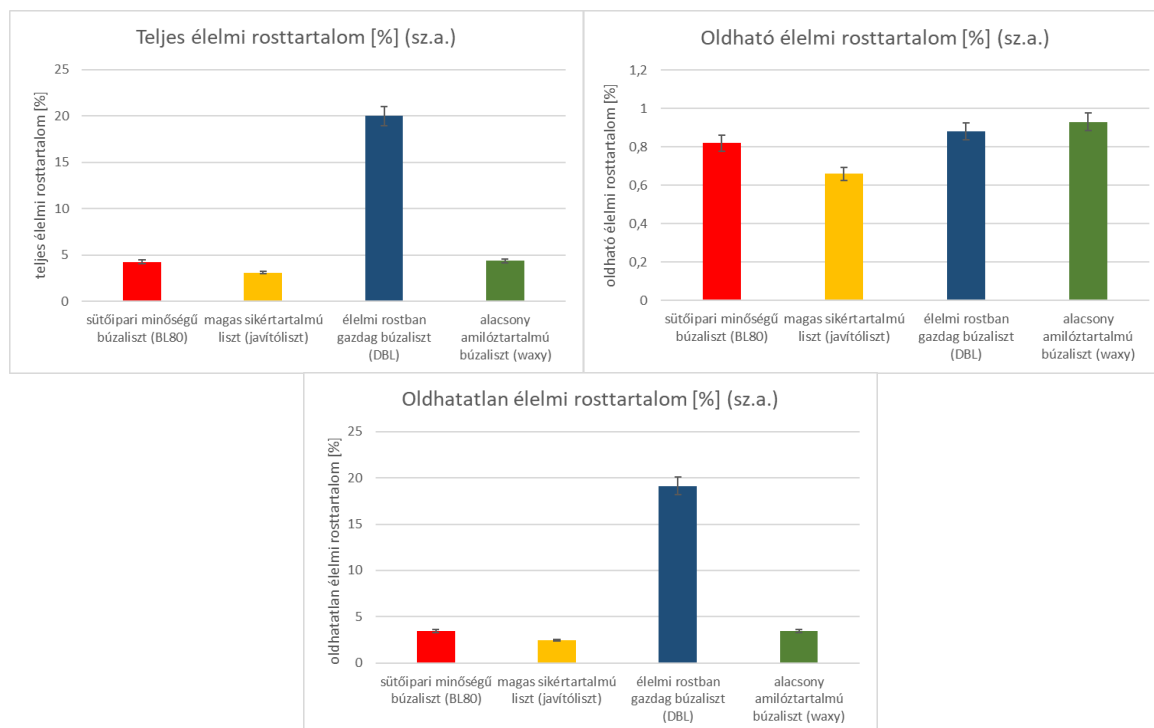


13. ábra: A négy alapliszt szárazanyagtartalomra vonatkoztatott nyersfehérje-, nyerszsír-, nedves sikkér-, és hamutartalma; *a liszt az adott mérési módszerrel nem vizsgálható

A beltartalmi mérések eredményeiről általánosan elmondható, hogy jelentős különbségek vannak a vizsgált minták között szinte minden paraméter értékében. A nyersfehérjetartalom 14,36-20,81% között változott a négy alaplisztben. A legalacsonyabb fehérjetartalmat a waxy, a legmagasabbat pedig a DBL mintában mértem. Az összes minta nyersfehérjetartalma szignifikáns különbséget mutatott. Növekvő fehérjetartalom szerint a négy alapliszt sorrendje: waxy liszt, BL 80, javítóliszt, DBL. A DBL magas fehérjetartalma hátterében az áll, hogy ez a liszt nagy mennyiségben tartalmaz aleuron réteget, mely magas fehérjetartalommal jellemezhető magrészt. A nedvessikér mennyisége 30,69-45,50% tartományban oszlott meg. A nedvessikér mennyiségét a DBL esetén nem tudtam az általunk

alkalmazott szabványos módszerrel meghatározni, ugyanis a liszt magas élelmi rosttartalmának köszönhetően annyi vizet vett fel a mérés során, hogy az erősen torzította a mérési eredményeket. Várakozásomnak megfelelően valóban a javítólisztre mértem a legnagyobb nedvessikér mennyiséget (45,50%), az érték szignifikánsan magasabb bármely másik mintánál. A legalacsonyabb sikértartalmat a BL 80 esetén mértem (30,69%), ami a többi mintánál szignifikánsan kisebb. Ez az eredmény nem egyezett az előzetes elképzeléseimmel, ugyanis az irodalmi adatok alapján waxy liszt sikértartalma jellemzően alacsonyabb a sütőipari minőségű búzaliszténél (Zaparenko et al., 2023). Kutatásomhoz nemesítési munkából származó waxy búzát használtam, ugyanis jelenleg csak ez volt elérhető számunkra. Elképzelhető, hogy a nemesítők a sikértulajdonságok javítására fókuszáltak és ez okozta az eltérést az irodalmi értékektől.

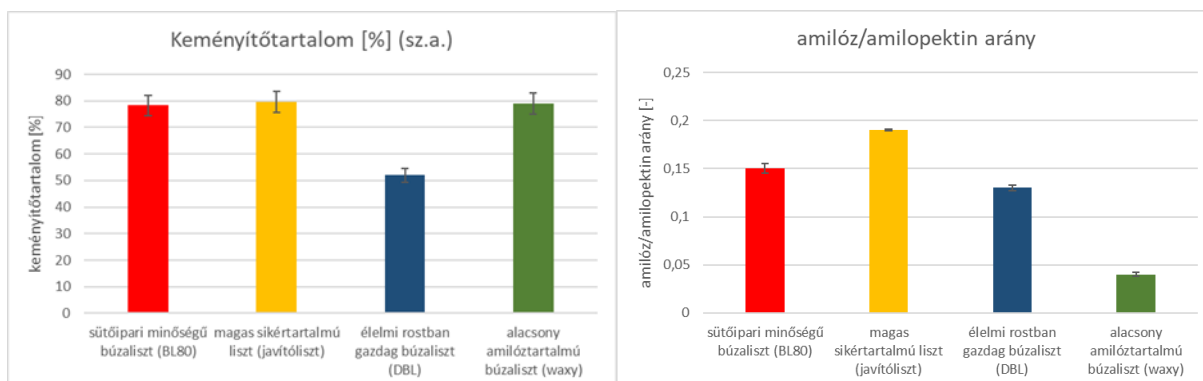
A nyerszsírtartalom esetén a javítólisztre mértem a legkisebb (1,04%) a DBL-re pedig a legnagyobb értéket (3,16%). Az említett lisztek zsírtartalma a másik két alaplisztétől jelentősen eltértek. A DBL eltérő értéke azzal magyarázható, hogy ez a liszt aleuronban gazdag, aminek pedig jelentős a lipidtartalma (Brouns et al., 2012). A BL 80 és a waxy liszt között nem volt szignifikáns eltérés. A hamutartalom eredményei 0,61-3,95% tartományban változtak. Mindössze a DBL értéke különbözött jelentősen a másik három mintától, ugyanis hamutartalma szignifikánsan magasabb (3,95%) volt minden mintánál. Ennek oka, hogy a DBL nagy mennyiségben tartalmaz héj és héjközei részeket, ez az érték előre vetíti, hogy kiugróan magas élelmirost tartalma lehet ennek a lisztnek. A magas sikértartalmú liszt hamutartalma volt a legalacsonyabb (0,61%), ám ez statisztikailag nem különbözött sem a BL80, sem a waxy liszt értékétől. Ez arra vezethető vissza, hogy a lisztek előállítási módja hasonló (a mag azonos részeit tartalmazzák).



14. ábra: A négy alapliszt szárazanyagtartalomra vonatkoztatott teljes-, valamint oldható-, és oldhatatlan élelmi rosttartalma

Vizsgáltam a teljes élelmirost tartalmát, valamint külön-külön az oldható-, és az oldhatatlan élelmi rostok mennyiségét is. A teljes élelmirost tartalom esetében változatos eredmények születtek, melyek 3,11-19,99% között oszlottak meg. A DBL teljes rosttartalma szignifikánsan magasabb volt minden lisztnél (19,99%), ami elsősorban az oldhatatlan élelmi rostok nagy hányadának köszönhető. A javítóliszt teljes élelmirost tartalma (3,11%) jelentősen kisebb volt a többi mintáénál. Ez arra vezethető vissza, hogy az oldható-, és oldhatatlan élelmi rostok mennyisége is ebben a lisztben volt a legkevesebb. A BL 80 és waxy liszt értékei között nem volt jelentős eltérés. Az oldható élelmi rostok mennyiségében volt a legnagyobb változékonyság, a mérési eredmények 0,66-0,93% között alakultak. Az oldható rostfrakció mennyisége a magas sikértartalmú lisztben volt a legkisebb (0,66%), a waxy lisztben pedig a legmagasabb (0,93%). Minden minta esetén szignifikáns különbséget mutattam ki az oldható élelmi rostok értékében. Annak ellenére, hogy a különbség statisztikailag szignifikáns, az eltérések tizedes nagyságrendűek, ami gyakorlati szempontból hasonlóknak tekinthető. Az oldhatatlan élelmi rostok mennyisége 2,45-19,11% között változott. Az oldható élelmi rostokhoz hasonlóan az oldhatatlan rostok mennyisége is a magas sikértartalmú lisztben volt a legkevesebb, viszont a DBL-ben volt a legtöbb. Az oldhatatlan élelmi rostok – az oldhatóval ellentétben – egy liszt kivételével hasonlóak voltak a vizsgált mintákban. A DBL volt az egyetlen, ami szignifikánsan különbözött, ugyanis a benne található oldhatatlan rostok mennyisége az összes lisztnél jelentősen magasabb volt (19,11%), több, mint 5,5-szerese a

második legtöbb oldhatatlan élelmi rostot tartalmazó mintáénak. A DBL jelentős eltérésének oka, az aleuron magas rosttartalmában keresendő.



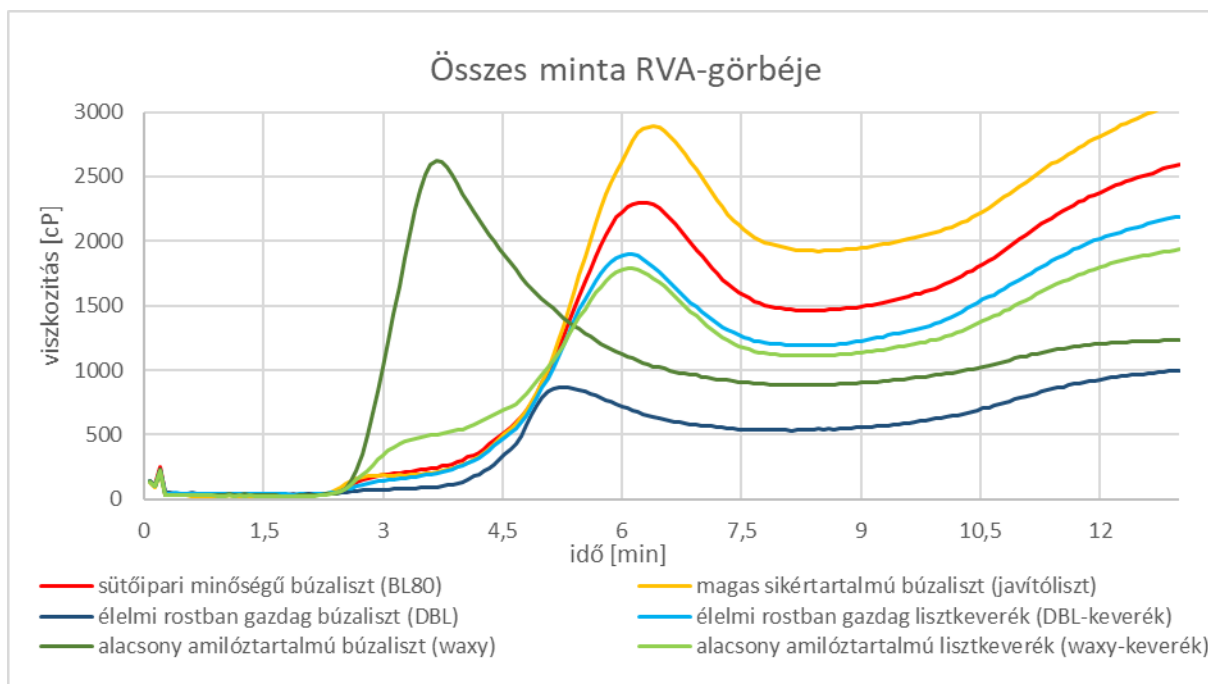
15. ábra: A négy alapliszt szárazanyagtartalomra vonatkoztatott keményítőtartalma, valamint az amilóz/amilopektin arány

A keményítőtartalmat számítással határoztam meg. A vizsgált minták keményítőtartalma 51,54-79,53% között változott. Értelemszerűen a legkevesebb keményítő a DBL-ben, a legtöbb pedig a javítólisztben volt. A DBL volt egyetlen minta, ami jelentősen különbözött a többitől, keményítőtartalma a másik három alaplisztéhez képest szignifikánsan alacsonyabb volt. Az ok az, hogy ennek a lisztnek az élelmi rosttartalma és a fehérje tartalma jelentősen magasabb, mint a többi liszté, így adódik, hogy a keményítőtartalmának alacsonyabbnak kell lennie. A BL 80, javítóliszt és waxy liszt között nem volt eltérés. A keményítőtartalom mellett az amilóz/amilopektin arányt is vizsgáltam, a mért értékek 0,04-0,19 között változtak. A legalacsonyabb értéket a waxy lisztre mértem, ez egyezett az előzetes várakozásommal, hiszen a waxy liszt jellegzetessége az alacsony amilóztartalom (Jaksics et al., 2020). Az amilóz/amilopektin arány a magas sikértartalmú liszt esetén volt a legnagyobb. Minden minta szignifikáns eltérést mutatott egymáshoz képest, növekvő amilóz/amilopektin arány szerint a minták sorrendje az alábbi: waxy liszt, DBL, BL 80, magas sikértartalmú liszt.

4.2 Reológiai mérések eredményei

4.2.1 Viszkózus tulajdonságok vizsgálata RVA készülékkel

A RVA méréssel kapott görbék nagyfokú eltérést mutatnak, akár a görbék jellegét, akár a paraméterek értékét tekintve. Az összes vizsgált minta görbáját a 16. ábra tartalmazza, a paraméterek számértékeit táblázatos formában foglaltam össze (2. függelék). A waxy liszt és a DBL görbéjének lefutása teljesen eltér a többi lisztétől.



16. ábra: A négy liszt és két lisztkeverék viszkozus tulajdonságait jellemző görbéi

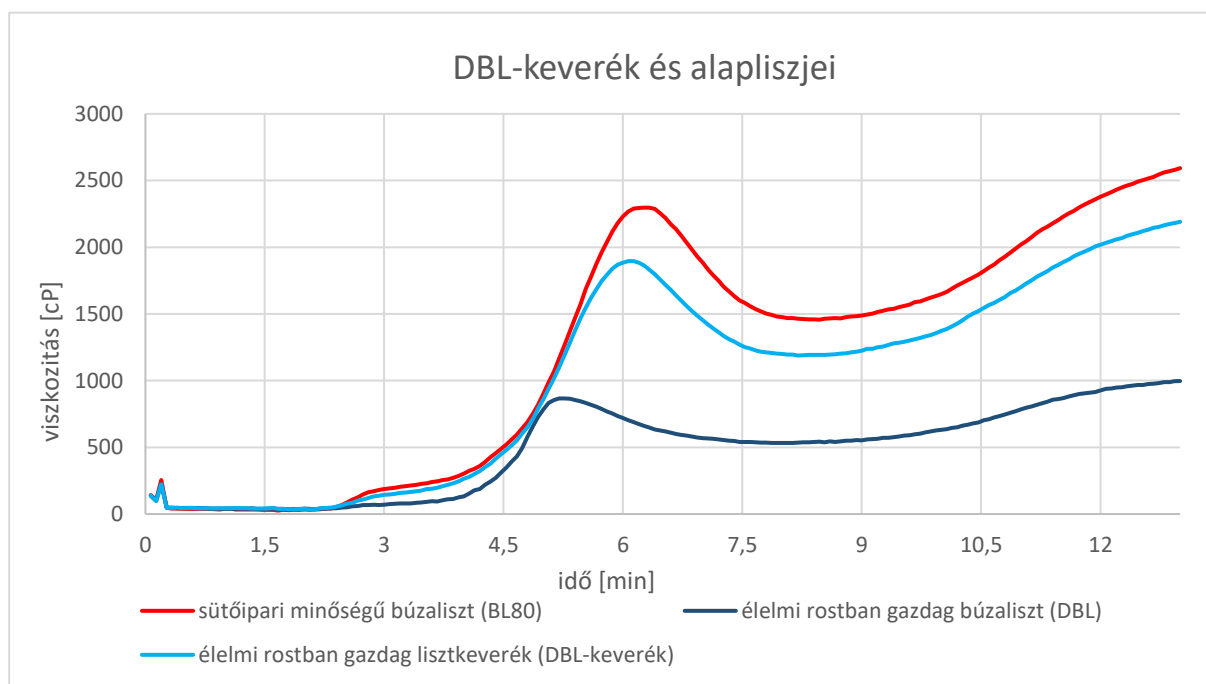
A csirizedési hőmérséklet a javítóliszt esetén (66,25 °C) volt a legalacsonyabb, a DBL esetén pedig a legmagasabb (86,40 °C). Az alaplisztek közül a DBL volt az egyetlen, ami eltért, értéke minden alaplisztnél (és a lisztkeverékeknél is) szignifikánsan magasabb volt. A másik három alapliszt – BL 80, javítóliszt, waxy liszt – között nem volt jelentős különbség. A csirizedési időt tekintve, jóval kevesebb minta esetén volt szignifikáns a különbség. A csúcsviszkozitást leggyorsabban a waxy liszt érte el (3,67 perc), míg a magas sikértartalmú búzaliszt esetén volt a legtöbb az ehhez szükséges idő (6,37 perc). A waxy liszt csirizedési ideje minden alaplisztnél jelentősen alacsonyabb volt, a DBL értéke pedig a BL 80 és a magas sikértartalmú liszthez képest volt szignifikánsan kisebb.

A csúcsviszkozitás a felfűtés szakaszában mért legmagasabb viszkozitást jelenti. A legkisebb értéket a DBL (871 cP), míg a legnagyobbat a javítóliszt esetén (2891,5 cP) kaptam. A csúcsviszkozitás értékében minden alapliszt szignifikánsan eltért egymástól, a minták növekvő sorrendben az alábbiak szerint alakultak: DBL, BL80, waxy liszt, magas sikértartalmú liszt. A hõn tartás fázisa alatt a keményítõszemcsék felrepednek, a viszkozitás csökkenni kezd, az ekkor elért minimum a forró tészta viszkozitása. Ebben a paraméterben az értékek 1390 cP széles tartományban oszlottak meg. A DBL értéke volt a legalacsonyabb (531 cP), a javítóliszté pedig a legmagasabb (1921 cP). A forró tészta viszkozitásának értéke az alaplisztek mindegyikénél szignifikáns eltérést mutatott. A minták viszkozitás szerinti növekvő sorrendje az alábbi volt: DBL, waxy liszt, BL 80, javítóliszt. A hűtési fázis alatt megindul a keményítő retrogradációja, a viszkozitás ismét emelkedni kezd. A végső viszkozitás – a forró tészta

viszkozitására hasonlóan – a DBL mérésekor volt a legalacsonyabb (997 cP), a javítóliszt vizsgálatakor pedig a legnagyobb (3076 cP). Ugyancsak a forró tészta viszkozitásával megegyezően, minden alapliszt között szignifikáns eltérést mutattam ki, még a minták viszkozitás szerinti növekvő sorrendje is megegyezett. A waxy liszt volt az egyetlen, ahol a végső viszkozitás értéke nem haladta meg a csúcsviszkozitás értékét. A végső viszkozitás értéke (1229 cP), kevesebb mint a fele volt a csúcsviszkozitásának (2628 cP), arányaiban jóval közelebb állt a forró tészta viszkozitására (881,5 cP).

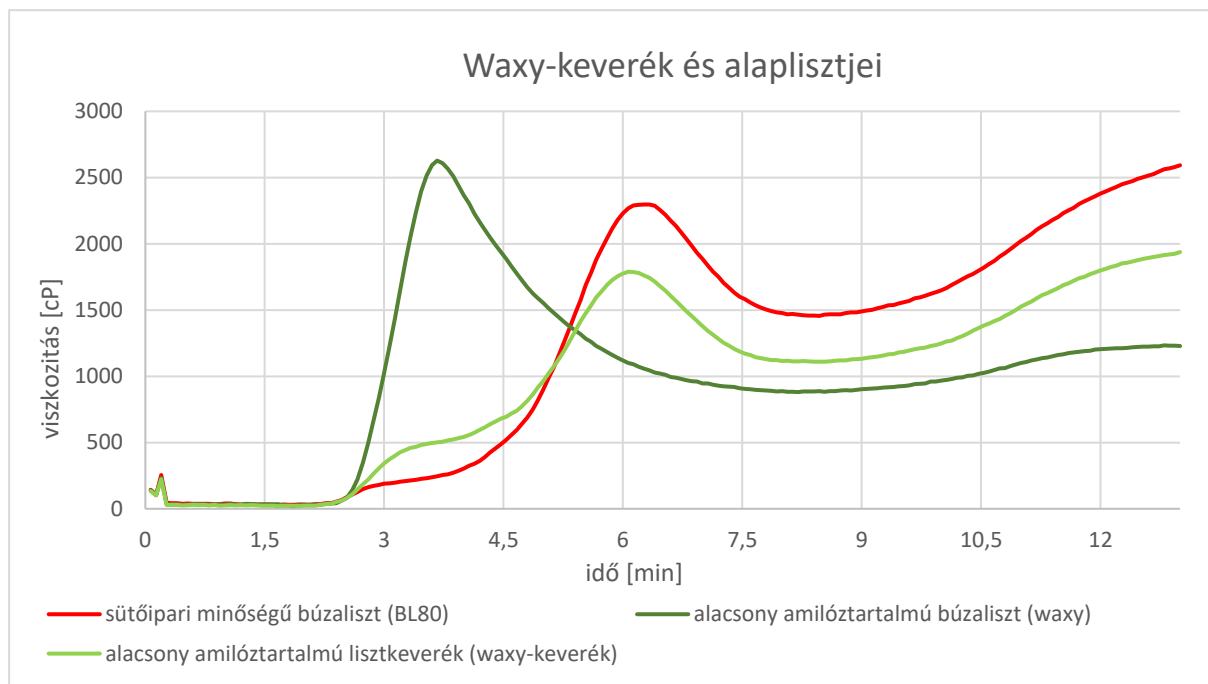
A DBL és a waxy liszt volt az a két minta, ami a legjelentősebb különbségeket mutatta a másik négy vizsgált liszthez/lisztkeverékhez képest. A DBL esetén az eltérések a többi liszthez képest nagyjából ötszörös mennyiségű élelmirost-tartalomra vezethetők vissza. A szakirodalom alapján a nem-keményítő poliszacharidok jelenléte (mennyiségtől, molekulamérettől függően) befolyásolja a viszkózus tulajdonságokat. A legtöbb szakirodalomban arról számoltak be, hogy az oldhatatlan rosttartalom növekedésével csökken a mért viszkozitás érték, ugyanis egy hidratáló filmet képezve bevonhatják a keményítőszemcséket, ezáltal növelve a duzzadt keményítőszemcsék látszólagos térfogati hányadát és így okoznak viszkozitás növekedését. (Harasztos et al., 2016; Lazaridou & Biliaderis, 2007). A waxy liszt különbségeiért a többi mintától jelentősen eltérő keményítőösszetétel (alacsony amilóz/amilopektin arány) volt a felelős. A szakirodalom alapján az általam kapott RVA-görbe a waxy lisztre jellemző lefutású (Jaksics et al., 2020). A javítólisztnél egész mérés alatt megfigyelhető, többi mintánál nagyobb viszkozitásban szerepe lehet a magas sikértartalomnak és az erős siker tulajdonságoknak.

Külön összehasonlítást végeztem az alaplisztek és a belőlük előállított lisztkeverékek eredményei között. A DBL-keverék és alaplisztjeinek görbéit a 17. ábra mutatja, a waxy-keverék és alaplisztjeinek görbéit a 18. ábra szemlélteti.



17. ábra: A DBL-keverék és alaplisztjeinek viszkozus tulajdonságait jellemző RVA görbéi

A DBL-keverék görbéje a teljes mérési idő alatt a két alapliszt görbéje között fut. Ugyanakkor a görbe jellegét és a paraméterek értékét tekintve is sokkal inkább a BL80-as liszthez hasonlít. Ezt a statisztikai elemzés is alátámasztja, ugyanis a DBL minden paraméterben szignifikánsan különbözött a BL 80 és a DBL-keveréktől is, a DBL-re mért értékek jelentősen alacsonyabbak voltak a másik két mintához képest. A BL 80 és a DBL-keverék között viszont a csirizesedési idő és hőmérséklet tekintetében sem volt szignifikáns különbség. A másik három paraméterben igen, a DBL-keverék viszkozitás értékei az voltak alacsonyabbak, ugyanakkor az értékek jobban közelítették a BL 80-as liszt eredményeit, mint a DBL-ét.



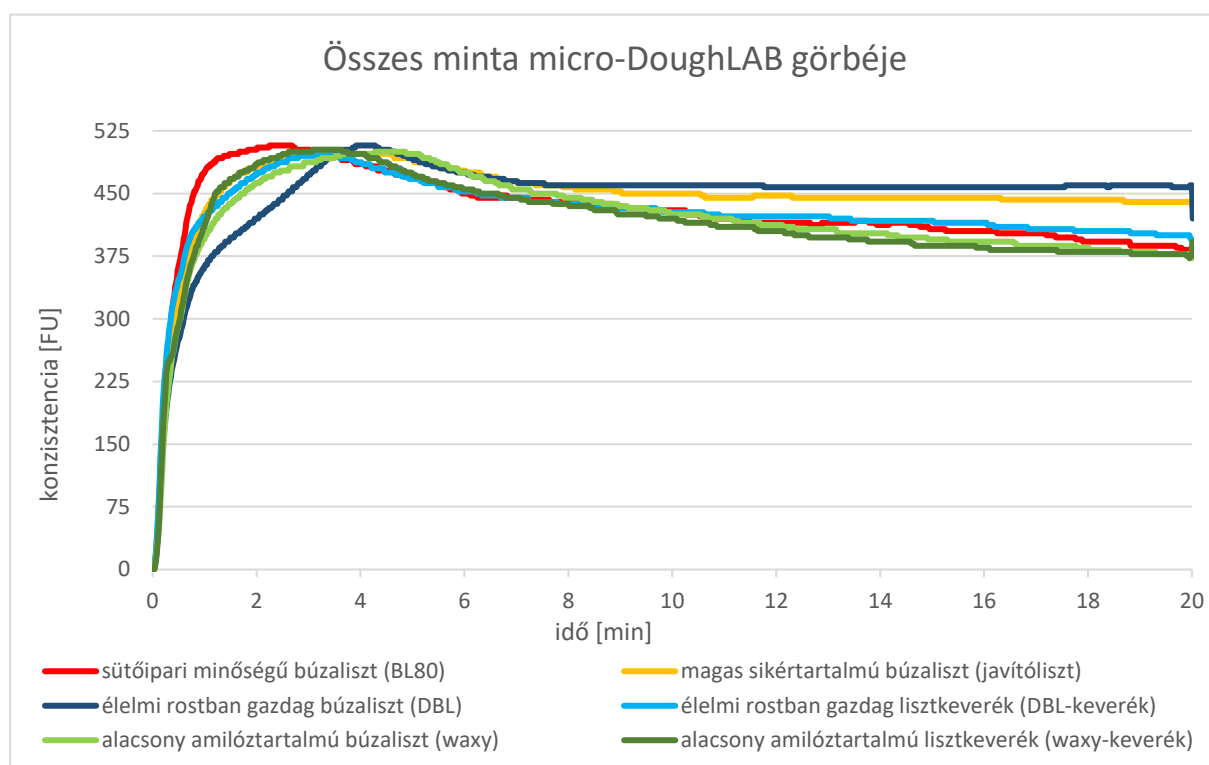
18. ábra: A waxy-keverék és alaplisztjeinek viszkozus tulajdonságait jellemző RVA görbéi

A waxy liszt görbéjének jellege különbözött leginkább az alaplisztektől és lisztkeverékektől egyaránt. A waxy-keverék viselkedése – a DBL-keverékhez hasonlóan – ugyancsak a BL 80-as lisztre hasonlít jobban. Ezt alátámasztja a statisztikai elemzés is, ugyanis a waxy liszt a csirizesedési hőmérsékletet leszámítva minden paraméterben szignifikánsan különbözött a BL 80 és a waxy-keverék értékeitől egyaránt. A BL 80 és waxy-keverék összehasonlításából látszik, hogy a csirizesedési hőmérséklet mellett, a csirizesedési időben sem volt szignifikáns különbség. A BL 80 és waxy-keverék csirizesedési ideje egyaránt szignifikánsan nagyobb volt a waxy liszténél. Érdekesség, hogy a waxy-keverék viszkozitása enyhe növekedést mutat 3,5 perc környékén, ami a waxy liszt csirizesedési idejének felel meg. Ez valószínűsíthetően hidratációs folyamatoknak tulajdonítható. A csúcsviszkozitás, a forró tészta viszkozitása és a végső viszkozitás mindhárom liszt esetén szignifikánsan különbözött. A lisztkeverék csúcsviszkozitásának értéke mindkét alaplisztnél alacsonyabb volt, a forró tészta viszkozitása és a végső viszkozitás értékei a lisztkeverék esetén, nagyjából középén helyezkedtek el az alaplisztkekhez képest.

Mindkét lisztkeverék esetén megfigyelhető, hogy bár a waxy liszt, a DBL és a BL 80 profilja nagyon eltérő, a BL80-hoz adagolva ezek a különbségek kisimulnak, mindkét keverékliszt alapvetően a BL 80 profiljához kezd hasonlítani. Ezek az eredmények is mutatják, hogy a reológiai paraméterek nem additívak, nem arányosan változnak az adagolással.

4.2.2 Dagasztási tulajdonságok vizsgálata micro-DoughLAB készülékkel

A micro-DoughLAB-os mérés során kapott diagramok a minták többségénél hasonló lefutásúak, leginkább a BL 80-hoz és a DBL-hez tartozó görbe térszakialakulásig tartó szakaszának alakja különbözik a többitől. Az ellágyulás szakaszában a görbék két csoportra oszlanak, a javítóliszt a DBL-hez hasonlóan fut, a másik négy minta (BL 80, DBL-keverék, waxy liszt, waxy-keverék) görbéje egymáshoz nagyon hasonló az ellágyulási szakaszon. Az összes minta görbéjét tartalmazza a 19. ábra, a paraméterek pontos értékei a függelékben (3. függelék: A micro-DoughLAB-bal meghatározott paraméterek pontos értéke táblázatos formában található).



19. ábra: Az négy alapliszt és két lisztkeverék dagasztási görbéje

A vízabszorpció értéke a javítóliszt esetén volt a legkisebb (57,8%), a DBL esetén pedig a legnagyobb (70,8 %). Az alapliszttechnél megfigyelhető, hogy a BL 80 (61,0%) és a javítóliszt eredményei nincsenek távol egymástól, viszont vízabszorpciójuk jóval alacsonyabb, a waxy-nál (67,2%) és a DBL-nél is.

A mérés kezdetén víz és mechanikai munka (dagasztás) hatására kialakul a sikerháló. Az ehhez szükséges időt nevezzük térszakialakulási időnek, a maximális konzisztencia (500 ± 15 FU) elérésekor. A legrövidebb időt a BL 80-as liszt (2,00 perc) esetén mértem, a leghosszabbat pedig a waxy liszt esetén (4,60 perc). A BL 80-as liszt térszakialakulási ideje minden alaplisztnél szignifikánsan kisebb volt. A másik három alapliszt térszakialakulási

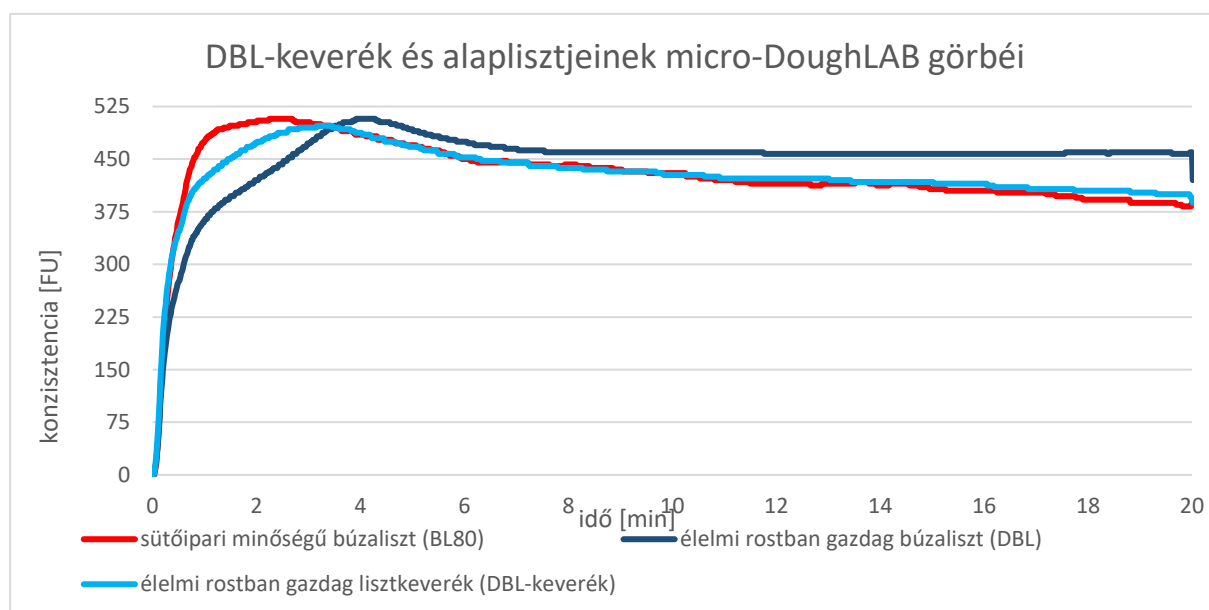
idejében nem volt jelentős eltérés. Technológiai szempontból egyik tésztakialakulási idő sem kiugróan hosszú. Ahhoz képest, hogy a DBL összetétele mennyire eltér az átlagos sütőipari lisztekétől, a dagasztási tulajdonságai kifejezetten kedvezőek. Vagyis nagy rosttartalom mellett is lehet technológia szempontból kedvező viselkedést mutató őrleményfrakciót előállítani.

A stabilitás ideje a DBL esetén volt a legrövidebb (2,15 perc), a javítóliszt esetében pedig a leghosszabb (5,50 perc). A javítóliszt volt az egyetlen minta, ami az összes többi vizsgált lisztől szignifikánsan eltért – mindegyiknél jelentősen magasabb volt. Ennek oka, a liszt sikerminőségében és erősségében keresendő, épp a stabilitás miatt alkalmazzák a kevésbé jó minőségű lisztek feljavítására. Az alaplisztek között továbbá a DBL és a waxy liszt mutatott egymáshoz képest szignifikáns különbséget, a waxy lisztből készült tésztának volt jobb a stabilitása.

Az ellágyulás mértéke a DBL esetén volt a legkisebb (50 FU), waxy liszt esetén pedig a legnagyobb (112,5 FU) az alaplisztek között. A DBL-hez nagyon hasonló kismértékű ellágyulást tapasztaltam a javítóliszt esetén (57,5 FU). Az alaplisztek között csak a waxy lisztnél mutattam ki jelentős különbséget, ez a minta a három másik alapliszthez képest szignifikánsan nagyobb mértékben lágyult el.

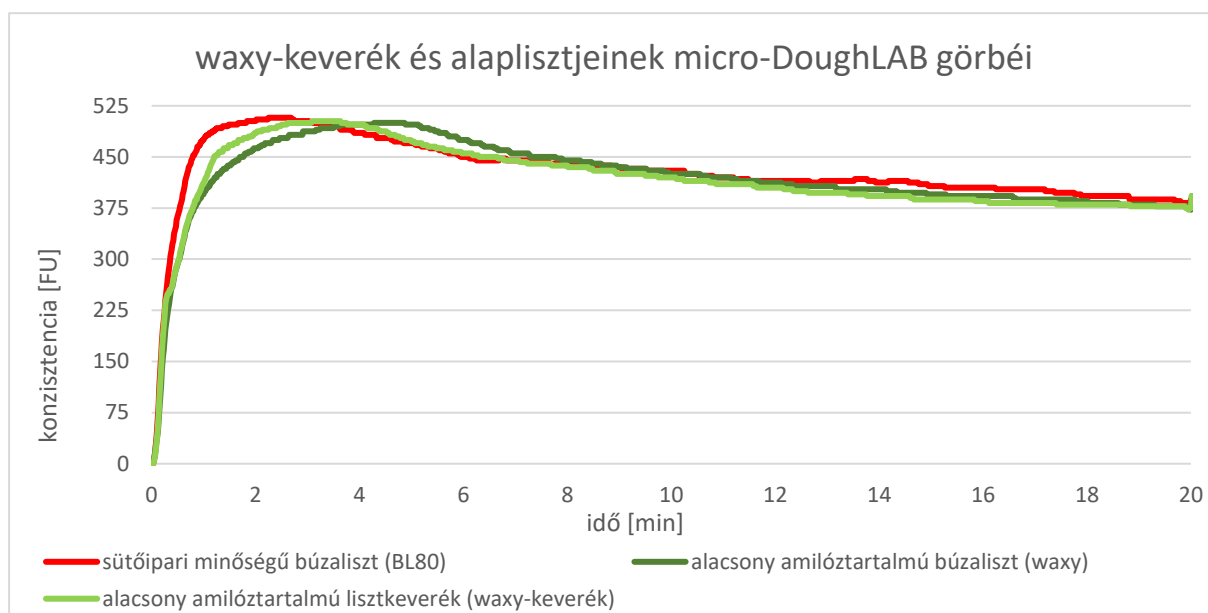
A DBL eltérő viselkedése vélhetően a minta magas élelmirost-tartalmának tulajdonítható. A szakirodalom alapján ezek a komponensek nagy vízkötő képességükből adódóan jellemzően növelik a vízabszorpciót, valamint versengenek a sikérfehérjékkel a rendelkezésre álló vízért, ez okozza a tésztakialakulási idő meghosszabbodását is. Ugyanakkor a rost összetevők képesek kölcsönhatásba lépni a sikérfehérjékkel, ez lehet a magyarázat az ellágyulás kis mértékére (Adams et al., 2015; Almeida et al., 2013). Bár összességében az oldhatatlan rostokból (elsősorban arabinoxilánokból) van nagyobb mennyiség, ezek a rostok részben hidratálhatók, és a dagasztási eredmények azt mutatják, hogy részben be tudnak épülni a tésztastruktúrába, homogén, a sütőipari lisztekhez hasonló viselkedésű mátrixot tudnak a sikérfehérjékkel és a keményítővel kialakítani. A javítóliszt viselkedése is könnyen értelmezhető, hiszen a sikérháló kialakulása miatt lesz a tészta jól nyújtható és dagasztható, ezeket a tulajdonságokat a nagyobb sikérmennyiség és jobb minőség pozitívan befolyásolja. Épp az átlagosnál nagyobb stabilitási idő és a kisebb ellágyulás teszi alkalmassá javítólisztként való felhasználásra.

Külön-külön összehasonlítottam az alaplisztek és a belőlük előállított lisztkeverékek dagasztási tulajdonságait. A DBL-keverék és alaplisztjeinek görbéit a 20. ábra mutatja, a waxy-keverék és alaplisztjeinek görbéit a 21. ábra szemlélteti.



20. ábra: A DBL-keverék és alaplisztjeinek dagasztási görbéi

A tézstakialakulás folyamata alatt a DBL-keverék görbéje, nagyjából közepén halad a két alapliszthez képest. Ezt alátámasztja a statisztikai elemzés is, miszerint szignifikáns különbség van a BL 80 és a DBL tézstakialakulási ideje között, a DBL-keverék viszont egyik alapliszttől sem tér el jelentősen. A DBL esetén a tézstakialakulás szakaszában két csúcs is megfigyelhető, ez a már fent említett hidratációs folyamatokra vezethető vissza. A stabilitás tekintetében a két alapliszt között sincs szignifikáns különbség és a keverék sem tér el az alaplisztektől. Az ellágyulás szakaszában a DBL-keverék viselkedése gyakorlatilag megegyezik a BL 80-as liszt viselkedésével, a görbék csaknem fedik egymást. Annak ellenére, hogy a számszerű értékeken jól látszik, hogy a lisztkeverék ellágyulásának mértéke sokkal közelebb van a BL 80 esetén mérthez, mint a DBL-hez, a különbségük statisztikailag nem szignifikáns.



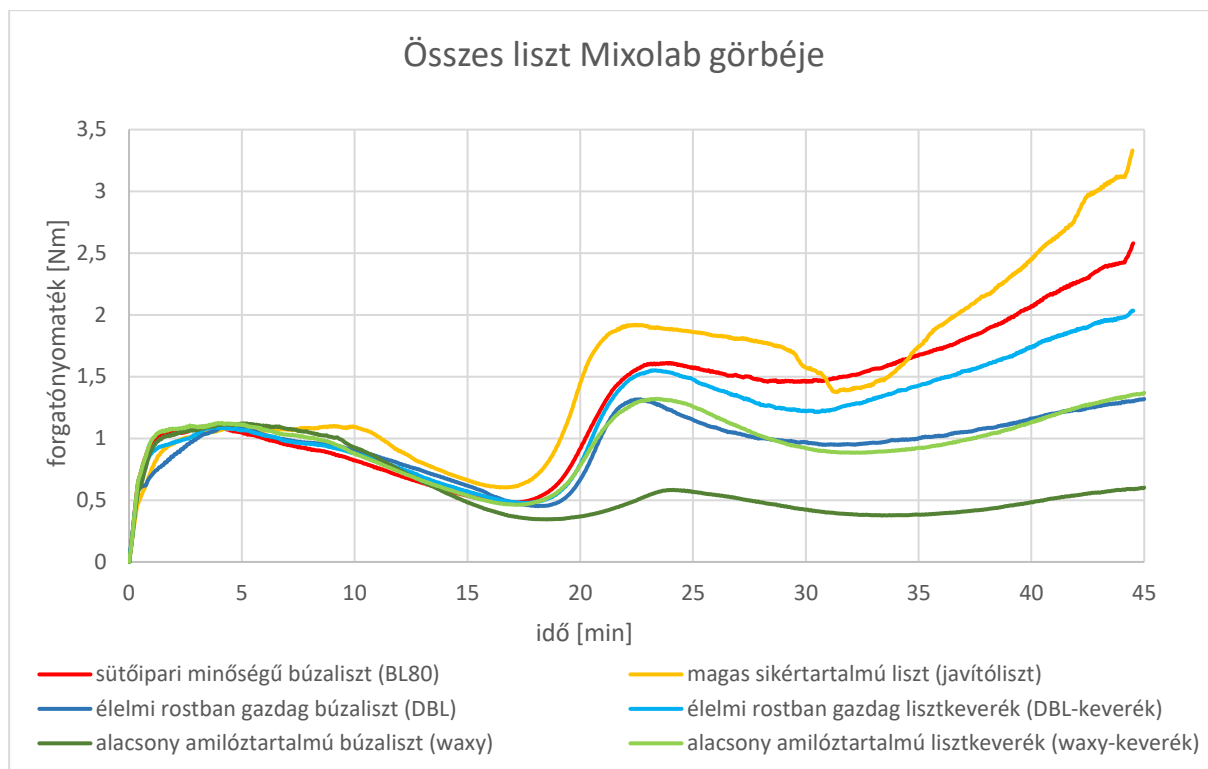
21. ábra: A waxy-keverék és alaplisztjeinek dagasztási görbái

A tésztakialakulás szakaszában a waxy-keverék viselkedése a BL 80-as liszthez hasonló volt, ugyanis a waxy liszt tésztakialakulási ideje szignifikánsan hosszabb volt a BL 80 és a waxy-keverék értékénél, míg a BL 80 és a lisztkeverék egymástól nem tért el szignifikánsan. A stabilitás idejében egyik liszt sem tért el jelentősen, az ellágyulás szakaszában – ahogy a görbéken is látható – mindhárom liszt nagyon hasonlóan viselkedett, a görbék 7-8 perc eltelté után közel azonos íven futottak, így az ellágyulás mértékében sem mutattam ki szignifikáns különbséget a három minta között.

Az RVA mérés eredményeihez hasonlóan a micro-DoughLAB-nál kapott értékeken is mindkét lisztkeveréknél jól látszik, hogy a reológiai paraméterek alakulása nem additív tulajdonság. A lisztkeverékeknél megfigyelhető, hogy az alaplisztek eltérő profilja ellenére, a BL80-hoz adagolva kisimulnak a különbségek, a keverék viselkedése a BL 80-hoz kezd hasonlítani.

4.2.3 Viszkózus és dagasztási tulajdonságok együttes vizsgálata Mixolab készülékkel

A Mixolab görbék a mérési idő első 7-8 percében közel együtt futnak, utána viszont a DBL és waxy-keverék kivételével jól láthatóan elváltnak. A görbék jellegében és az egyes paraméterek értékében is éles különbségek figyelhetők meg. A 22. ábra az összes minta görbéjét bemutatja, a paraméterek pontos értékeit a függelékben tüntettem fel (4. függelék).



22. ábra: A négy liszt és két lisztkeverék dagasztási és viszkózus tulajdonságát jellemző görbék

A vízabszorpció értéke a BL 80-as liszt esetén volt a legkisebb (56,0%), a DBL esetén pedig a legnagyobb (70,5 %). Az alaplisztek között a BL 80 és a javítóliszt eredményei (58,8%) nincsenek távol egymástól, viszont vízabszorpciójuk jóval alacsonyabb, a waxy-nál (66,0%) és a DBL-nél is. A BL 80 és a javítóliszt hasonló vízabszorpciója, valamint eltérésük a DBL-hez és a waxy lisztkezest a micro-DoughLAB eredményeinél is megfigyelhetőek voltak.

A mérést beállításából adódóan a C1 nyomaték értékei között nincs szignifikáns különbség, a nyomaték eléréséhez szükséges időben (tulajdonképpen térszakialakulási idő) viszont igen. A C1 idő 3,33-9,10 perc tartományban változott. A legrövidebb időt a BL 80-as liszténél mértem (3,33 perc), a leghosszabbat, pedig a javítóliszt esetén (9,10 perc). Az alaplisztek mindegyike szignifikánsan különbözött egymástól, a minták sorrendje a C1 idő szerint: BL 80, DBL, waxy, magas sikértartalmú búzaliszt. A javítólisztre mért idő szignifikánsan nagyobb volt bármelyik másik minta értékénél. Annak ellenére, hogy a waxy liszt esetén mért idő a minták által meghatározott tartomány közepére esett, mégis szignifikánsan eltért az összes liszttől.

A stabilitás a tészta dagasztással szembeni ellenállását mutatja. Az előzetes várakozásaimnak megfelelően a javítóliszt esetén volt a leghosszabb a stabilitási idő (9,65 perc), a legrövidebb idő a DBL-hez tartozott (5,30 perc). Az alaplisztek között a javító-, és waxy

liszt stabilitása egymástól nem tért el, viszont mindkét minta stabilitása jelentősen magasabb volt a BL 80 és a DBL vizsgálata során mért értéknél.

A fehérjehálózat gyengülése miatt a konzisztencia értéke csökken, minimumánál mérhető a C2 forgatónyomaték (tulajdonképpen ellágyulás). A legalacsonyabb C2 nyomatékat a waxy- (0,34 Nm), a legmagasabbat pedig a magas sikértartalmú liszt (0,60 Nm) esetén mértem. A C1 időhöz hasonlóan a C2 nyomaték esetén is minden alapliszt szignifikánsan eltért egymástól. A javítóliszt C2 nyomatéka minden mintáénál magasabb, a waxy liszté pedig mindegyiknél alacsonyabb volt.

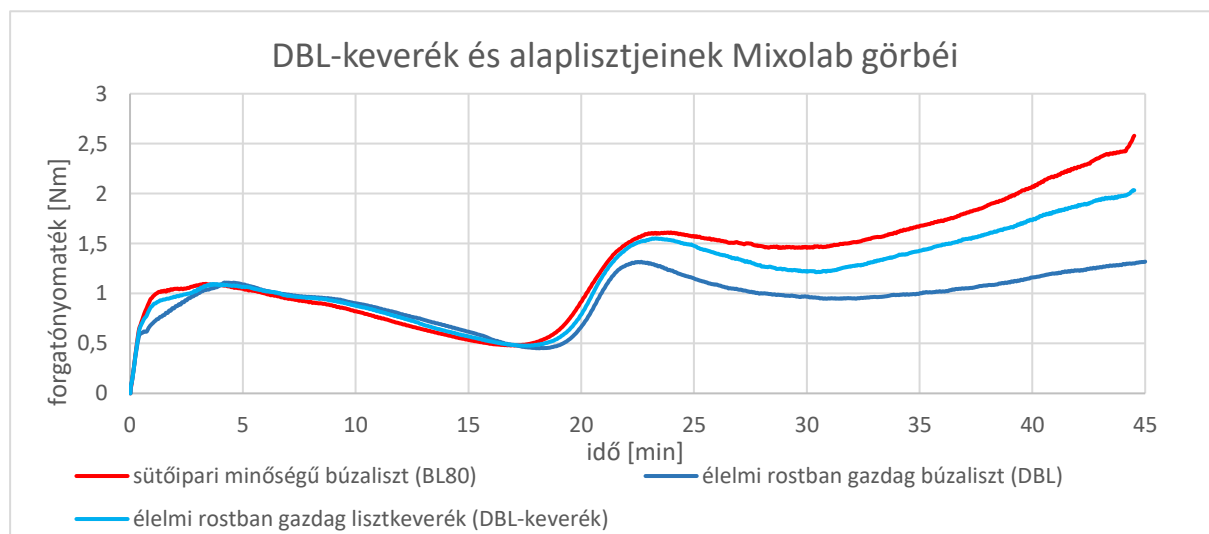
Mivel a Mixolabbal végzett mérés első szakasza – a micro-DoughLAB-hoz hasonlóan – a dagasztási tulajdonságokról szolgáltat információt, ezért az eredményeket érdemes összehasonlítani. A minták közti különbségek hasonlóan alakultak a két mérés során, az eredmények magyarázata is közel azonos okokhoz vezethető vissza. A térszaktialakulási és C1 idő, illetve a mindkét műszerrel mért stabilitás értékei szinte teljesen azonos tendenciákat mutatnak. A micro-DoughLAB-hoz hasonlóan a Mixolabnál is látszik, hogy a DBL és az átlagos sütőipari lisztek összetételének különbségei ellenére, a DBL dagasztási tulajdonságai is megfelelőek. Egyedül a javítóliszt viselkedett máshogy a térszaktialakulás szakaszában a két mérés során. Az eltérő viselkedést akár az is okozhatja, hogy a berendezések kialakítása különböző, hiszen a micro-DoughLAB-bal ellentétben a Mixolabban nem a jellegzetes „Z” alakú dagasztókar található, ezért az átlagosabbnál jobb sikerminőséggel rendelkező lisztek térszaktialakulása eltérő lehet.

A C3 nyomaték a waxy liszt (0,58 Nm) esetén volt a legkisebb, a javítóliszt (1,93 Nm) esetén pedig a legnagyobb. A paraméter értéke mind a négy alapliszt esetén jelentős eltérést mutatott egymáshoz képest. A minták sorrendje a C3 nyomaték növekvő értékei szerint: waxy liszt, DBL, BL 80, javítóliszt. A keményítő részleges bomlása miatt a C4 forgatónyomaték a C3-nál kisebb. A legnagyobb C4 nyomaték a BL 80-as liszthez tartozott (1,43 Nm), a legkisebb pedig a waxy liszthez (0,37 Nm). Az alaplisztek között a BL 80 és a javítóliszt nem különbözött egymástól. A DBL értéke az előző két liszténél szignifikánsan kisebb volt, a waxy liszt C4 forgatónyomatéka pedig még a DBL-nél is jelentősen alacsonyabb volt. A C5 forgatónyomaték a retrogradációról ad információt. A C3 nyomatékhoz hasonlóan a C5 nyomaték esetén is a waxy liszthez (0,60 Nm) tartozott a legkisebb, a javítóliszthez pedig a legnagyobb (3,34 Nm) érték. Az összes alapliszt esetén jelentős különbség volt az említett paraméter értékében. A minták sorrendje a C5 nyomaték növekvő értékei szerint: waxy liszt, DBL, BL 80, javítóliszt. Ez a sorrend teljesen megegyezett a C3 nyomatéknál látottal.

A fűtés hatására a sikerfehérjék denaturálódnak, elvesztik szerkezetalakító hatásukat, így a tészta konzisztenciáját elsősorban a keményítő hidratációja, a csirizedés folyamata határozza meg. Fehérlisztek esetében ez elsősorban keményítő tulajdonságtól, összetételtől és állapottól (amilóz/amilopektin arány, bontottság, méret, sérülés) függ, ezt jól mutatja a waxy liszt. Azonban a rostban gazdag őrlemény lefutása igazolja, hogy a nem-keményítő szénhidrátok – jelen esetben legfőképpen arabinoxilán – ezt a folyamatot jelentősen befolyásolhatja, ami később a kenyér sütési tulajdonságaira, a bélzet szerkezetére és a szerkezet stabilitására lehet hatással.

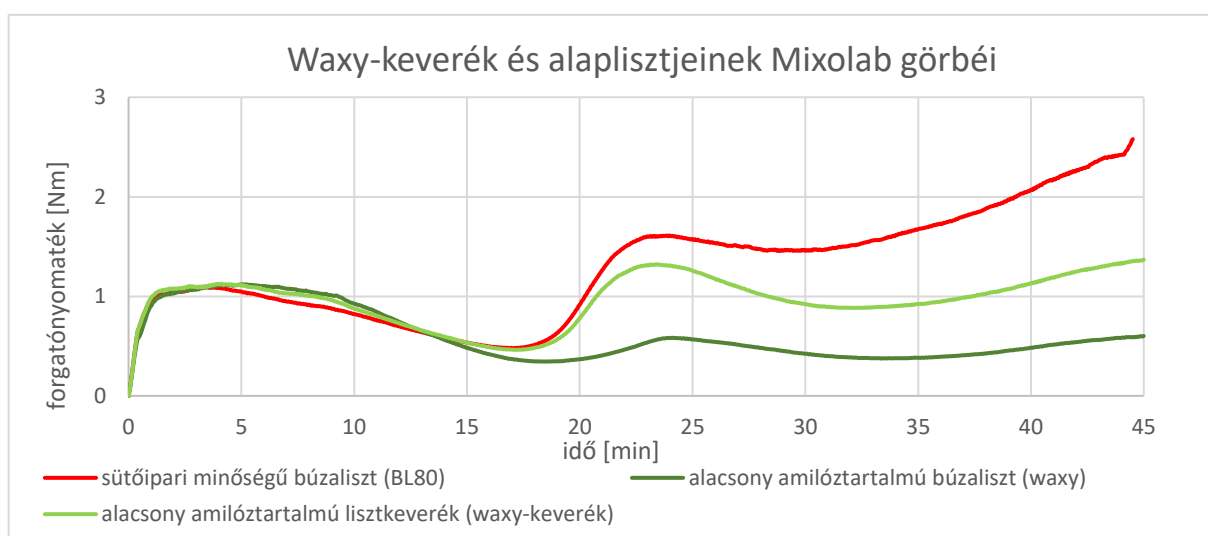
A mérés második szakasza az RVA-hez hasonlóan a viszkozus tulajdonságokat vizsgálja, azonban a mátrix eltérő, az RVA-nál híg szuszpenzió, a Mixolab esetében tészta szerkezet vizsgálata történik. Ebből adódhat a részben eltérő tendenciák kialakulása. Az RVA mérésnél végig a DBL viszkozitása volt legalacsonyabb, a Mixolabnál viszont a waxy liszt értékei voltak látványosan alacsonyabbak a többi mintánál, míg a DBL görbéje a waxy-keverékhez hasonló lefutású volt. A waxy liszt volt az, aminek viselkedése a legjobban különbözött a két műszerben. Az eltérések oka az lehet, hogy míg az RVA esetén híg liszt szuszpenzióban a víz mennyisége „korlátlan”, vagyis nem befolyásolja érdemben a hidratációs folyamatokat, addig a Mixolabban tészta rendszerben mérünk, a rendelkezésre álló víz limitált így a lisztben lévő komponensek között versengés alakul ki a vízzel, ezért elképzelhető, hogy egyes folyamatok gátoltak lehetnek, vagyis lassabban játszódnak le.

Külön összehasonlítást végeztem az alaplisztek és a belőlük előállított lisztkeverékek eredményei között. A DBL-keverék és alaplisztjeinek görbéit a 23. ábra szemlélteti, a waxy-keverék és alaplisztjeinek görbéit a 24. ábra mutatja be.



23. ábra: A DBL-keverék és alaplisztjeinek dagasztási és viszkozus tulajdonságait jellemző görbéi

A DBL-keverék görbéje a mérés teljes ideje alatt az alaplisztek görbéi között fut. A mérési idő első 20 percében a lisztkeverék viselkedése a BL 80-as liszthez nagyon hasonló. Ezt a görbék alakja és elhelyezkedése mellett a statisztikai elemzés is igazolja, ugyanis a C1 idő, C2 forgatónyomaték és a stabilitás értékében sincs szignifikáns különbség a BL 80 és a lisztkeverék között. Ezzel szemben a DBL a C1 időben és C2 nyomatékban is jelentősen eltér a másik két mintától, C1 ideje szignifikánsan nagyobb, C2 nyomatéka szignifikánsan kisebb. Nagyjából 20 perc után a görbék élesen elkülönülnek. Ez a statisztikai elemzésben is visszaköszön, hiszen a C3-, C4-, C5 forgatónyomaték értékeiben is szignifikáns különbség van mindhárom liszt között. Ezekben a paraméterekben a DBL értéke rendre a legalacsonyabb, ezt követi a DBL-keverék, majd a BL 80.



24. ábra: A waxy-keverék és alaplisztjeinek Mixolab görbéi

A waxy-keverék és alaplisztjeinek görbéiről, illetve a paraméterek értékeiről általánosan elmondható, hogy jelentősen eltérnek egymástól. A statisztikai elemzés alapján mindössze a BL 80 és a waxy-keverék C2 forgatónyomatéka, illetve a három liszt stabilitási ideje az, amiben nincs szignifikáns különbség. Az összes többi vizsgált paraméter értéke szignifikáns eltérést mutat mindhárom liszt esetén. A C2-, C3-, C4-, C5 forgatónyomaték értéke is a waxy liszt esetén a legalacsonyabb, ezt követi a waxy keverék, majd a BL 80.

A korábbi reológiai mérésekhez – RVA, micro-DoughLAB – hasonlóan a Mixolab eredményei is mutatják, hogy a reológiai paraméterek nem additívak. Mindkét lisztkeverékek profilja a BL 80 profiljára hasonlít jobban.

4.3 Mérési módszer fejlesztése a sokkolt, illetve elősütött-sokkolt pékáruk minősítésére

Munkám alapvető célja volt a különböző gabonaőrlemények összetételi és reológiai tulajdonságai és az elősütött sokkolt termékek minősége közötti összefüggések vizsgálata, valamint a sokkolt termékek minőségjavítási lehetőségeinek feltárása. Ehhez azonban nem állt rendelkezésemre vizsgálati módszer, amely alkalmas a termékek előállítására ismételhetően és reprodukálhatóan, ezért munkám első fázisában laboratóriumi terméktesztek kifejlesztésén dolgoztam.

A sütőipari minőség komplex meghatározására jelenleg csak a nemzetközi és hazai szabványosításban a sütési teszt van (ICC 131). A kutatócsoportunkban korábban ezt fejlesztették tovább kis mintamennyiség felhasználásával alkalmazható terméktesztekre (Németh et al., 2018). Ebből a gondolatmenetből kiindulva, a mélyhűtött és sokkolt termékek ipari gyakorlatából származó lépéseket ültettem át a laborban megvalósítható és megfelelő mértékben reprodukálható termékelőállítási protokoll kidolgozásához. A módszerfejlesztés lépései a következők voltak:

1. Megfelelő kísérleti berendezés kiválasztása és beszerzése. A következő berendezéseket sikerült beillesztenünk (Gyermelyi Zrt segítségével): kelesztő, sokkoló, fagyasztó.
2. Az üzemi gyártási gyakorlat léptékcsoökkentése, a receptúra kidolgozása (részleteket az ipari kísérletek bizalmas voltára tekintettel itt nem közlünk)
3. A laboratóriumi módszertan lépéseinek kidolgozása.
4. A kísérleti módszertan ismételt végrehajtása, a módszer részleges validálása.

Bizonyos bizalmas információk, illetve a terjedelmi korlátok miatt részleteket a dolgozatban nem közlünk. A fejlesztés eredményeként kidolgozott protokoll lépéseit a 8. táblázat tartalmazza.

8. táblázat: A sokkolt, illetve elősütött és sokkolt pékárukra kifejlesztett termékteszt lépései

	Sokkolt termékek	Elősütött és sokkolt termékek
összetevők és mennyiségük	Liszt, só, desztillált víz, élesztő, kovász. A liszt mennyiségének meghatározása a nedvességtartalma szerint, a többi hozzávaló arányosítása a lisztmennyiséghez recept alapján. A szükséges mennyiségű kovász elkészítése és érlelése tésztakészítés előtt.	
tésztakészítés	A száraz hozzávalók 5 perces előkeverése Farinográfbán, majd a desztillált víz, élesztő, kovász adagolása és tésztakialakulási időig történő dagasztás.	
kelesztés	Kiolajozott, sütőpapírral bélelt formákban, 31 °C-on, 80%-os relatív páratartalom mellett, 60 percig.	
elősütés	–	220 °C-ra előmelegített sütőben, a sütés kezdetén gőzbevezetéssel, 10 perc alatt.
sokkolás	- 35 °C-ra állított sokkoló berendezésben 40 percig (amíg a maghőmérséklet - 8 °C-ra csökken).	
fagyasztva tárolás	No-frost mélyhűtőben, - 22 °C-on, légmentesen lezárható műanyag tasakokban.	
kiolvasztás	A kelesztéshez hasonlóan 31 °C-on, 80%-os relatív páratartalom mellett. Időtartamát tekintve 45 percig.	
sütés	220 °C-ra előmelegített sütőben, a sütés kezdetén gőzbevezetéssel, 15 perc alatt.	220 °C-ra előmelegített sütőben, a sütés kezdetén gőzbevezetéssel, 5 perc alatt.
végtermék minősítés	A formából kivéve 1 órás hűlési periódus. A kihűlt termék tömegének (táramérleg) és térfogatának (lézer) mérése, ebből a sütési veszteség és fajlagos térfogat meghatározása. Felszeletelés után a bélzet állományvizsgálata TPA berendezés alkalmazásával.	

A termékteszt ismételhetőségének vizsgálata érdekében 3 egymást követő napon, naponként 5-5 párhuzamos mérést végeztem, BL 80-as liszt felhasználásával a sokkolt, valamint az elősütött és sokkolt termékekre kifejlesztett módszerrel egyaránt. Az egy napon belül-, és a különböző napokon végzett párhuzamos mérések eredményeit is statisztikai elemzéssel hasonlítottam össze.

4.3.1 Az egy napon belül végzett mérések összehasonlítása a módszer ismételhetőségének meghatározására

Az azonos napon végzett párhuzamos mérések eredményeit csak a bélzet állományvizsgálata esetén tudtam statisztikai elemzéssel összehasonlítani. Ennek oka, hogy mind az 5 minta tömegének mérését mintánként csak egyszer végeztem el, ebből kifolyólag a sütési veszteségre is minden minta esetén csak egy eredményem volt. Mivel a fajlagos térfogat számításához fel kell használni a tömegmérés eredményét, ezért hiába mértem meg minta térfogatát kétszer, az ebből meghatározott fajlagos térfogat két eredménye nem volt független egymástól (hiszen ugyanazzal a tömeggel számoltam mindkét esetben). Az azonos napon

végzett minősítések eredményét a sokkolt kenyerek esetén a 9. táblázat, az elősütött és sokkolt kenyerek esetén pedig a 10. táblázat tartalmazza.

9. táblázat: A sokkolt kenyerek azonos napon végzett minősítésének eredményei

	Sütési vesztesség [%]	Fajlagos térfogat [cm ³ /g]	Keményység [g]	Rugalmasság [-]	Kohézió [-]	Ruganyosság [-]
s_1.nap_a	14,60	2,03	259,97 ± 48,32 ^{ab}	1,04 ± 0,06 ^a	0,81 ± 0,01 ^{ab}	0,56 ± 0,02 ^a
s_1.nap_b	15,07	2,05	332,60 ± 45,30 ^{abc}	1,00 ± 0,01 ^a	0,77 ± 0,01 ^{cd}	0,53 ± 0,02 ^{abc}
s_1.nap_c	15,15	2,07	307,87 ± 51,23 ^{abc}	1,03 ± 0,05 ^a	0,79 ± 0,02 ^{abc}	0,54 ± 0,02 ^{abc}
s_1.nap_d	15,34	2,12	259,33 ± 30,35 ^{ab}	1,02 ± 0,04 ^a	0,79 ± 0,02 ^{abc}	0,55 ± 0,03 ^{abc}
s_1.nap_e	15,98	1,99	348,94 ± 11,66 ^{bc}	1,04 ± 0,07 ^a	0,75 ± 0,01 ^d	0,51 ± 0,02 ^{bc}
s_2.nap_a	14,99	2,18	311,41 ± 48,47 ^{abc}	1,02 ± 0,05 ^a	0,78 ± 0,01 ^{bcd}	0,53 ± 0,01 ^{abc}
s_2.nap_b	14,79	2,08	297,01 ± 42,04 ^{abc}	1,00 ± 0,01 ^a	0,80 ± 0,02 ^{abc}	0,55 ± 0,02 ^{abc}
s_2.nap_c	14,76	2,15	240,00 ± 23,29 ^a	1,01 ± 0,02 ^a	0,81 ± 0,01 ^a	0,56 ± 0,02 ^{ab}
s_2.nap_d	15,31	2,11	331,85 ± 45,45 ^{abc}	1,02 ± 0,05 ^a	0,78 ± 0,01 ^{bcd}	0,54 ± 0,01 ^{abc}
s_2.nap_e	15,27	2,08	304,15 ± 51,08 ^{abc}	1,04 ± 0,06 ^a	0,79 ± 0,00 ^{abc}	0,54 ± 0,00 ^{abc}
s_3.nap_a	15,28	2,00	303,36 ± 59,05 ^{abc}	1,02 ± 0,05 ^a	0,78 ± 0,02 ^{cd}	0,52 ± 0,02 ^c
s_3.nap_b	14,97	1,91	355,23 ± 15,31 ^c	1,01 ± 0,01 ^a	0,77 ± 0,01 ^{cd}	0,52 ± 0,02 ^c
s_3.nap_c	15,37	2,02	308,39 ± 35,44 ^{abc}	1,03 ± 0,05 ^a	0,78 ± 0,01 ^{abcd}	0,52 ± 0,01 ^{bc}
s_3.nap_d	15,28	1,96	295,21 ± 27,57 ^{abc}	0,99 ± 0,00 ^a	0,79 ± 0,00 ^{abcd}	0,53 ± 0,01 ^{abc}

A sokkolt termékekre kidolgozott módszerrel előállított és minősített kenyerek keménységéről elmondható, hogy az azonos napi párhuzamos mérések között egyik nap sem volt szignifikáns eltérés egy minta esetén sem. Ugyanez igaz a rugalmasságra is, azzal a kiegészítéssel, hogy nem csak az azonos napi, de a napok közötti párhuzamosok sem mutattak jelentős különbséget. A kohézió tekintetében volt eltérés néhány azonos napi párhuzamos mérés között. Az 1. napi mérések közül az „e” jelű csak a „b”-től nem tért el jelentősen, emellett az „a” és „b” között is jelentős volt a különbség. A 2. napi párhuzamosok között a „c” jelű tért el statisztikailag az „a”-tól és „d”-től, a „c”-t leszámítva viszont a másik négy minta között nem volt jelentős különbség. A 3.napon végzett mérések között egyik párhuzamos sem mutatott

szignifikáns eltérést. A ruganyosság mértékében – a keménységhez és rugalmassághoz hasonlóan – az azonos napi párhuzamos mérések egyikében sem volt szignifikáns a különbség. Összegezve tehát, a sokkolt pékárukra kifejlesztett termékteszt ismételhetőségének vizsgálata során a kohéziót leszámítva egyik paraméter – keménység, rugalmasság, ruganyosság – esetén sem volt jelentős eltérés egyik azonos napi párhuzamos között sem. A kohézió esetén sem volt olyan minta, ami az összes többi, vele egy napon minősített kenyértől szignifikánsan különbözött volna, ami igazolja a módszer alkalmazhatóságát.

10. táblázat: Az elősütött és sokkolt kenyerek azonos napon végzett minősítésének eredményei

	Sütési veszteség [%]	Fajlagos térfogat [cm ³ /g]	Keménység [g]	Rugalmasság [-]	Kohézió [-]	Ruganyosság [-]
e_1.nap_a	11,72	2,12	207,40 ± 5,01 ^a	1,00 ± 0,01 ^a	0,79 ± 0,01 ^a	0,53 ± 0,02 ^a
e_1.nap_b	11,44	1,96	252,63 ± 33,76 ^{abcd}	1,03 ± 0,05 ^a	0,76 ± 0,02 ^{abcd}	0,50 ± 0,02 ^{abc}
e_1.nap_c	12,21	2,12	232,64 ± 23,49 ^{ab}	1,01 ± 0,05 ^a	0,77 ± 0,02 ^{abcd}	0,51 ± 0,02 ^{ab}
e_1.nap_d	11,79	1,98	256,17 ± 5,76 ^{abcde}	1,01 ± 0,02 ^a	0,77 ± 0,01 ^{bcd}	0,51 ± 0,02 ^{ab}
e_1.nap_e	12,51	2,10	240,10 ± 25,88 ^{abc}	1,02 ± 0,05 ^a	0,78 ± 0,02 ^{ab}	0,53 ± 0,02 ^a
e_2.nap_a	11,60	1,99	304,00 ± 28,33 ^{cde}	1,00 ± 0,01 ^a	0,74 ± 0,02 ^{cd}	0,47 ± 0,02 ^{bcd}
e_2.nap_b	11,53	1,94	287,92 ± 34,45 ^{bcd}	0,99 ± 0,00 ^a	0,75 ± 0,00 ^{bcd}	0,49 ± 0,00 ^{bcd}
e_2.nap_c	11,26	1,96	304,78 ± 28,41 ^{de}	1,03 ± 0,06 ^a	0,74 ± 0,02 ^{cd}	0,47 ± 0,02 ^{bcd}
e_2.nap_d	11,52	2,01	266,39 ± 22,78 ^{abcde}	0,99 ± 0,00 ^a	0,76 ± 0,01 ^{abcd}	0,48 ± 0,02 ^{bcd}
e_2.nap_e	12,56	2,02	292,00 ± 33,88 ^{bcd}	1,01 ± 0,01 ^a	0,74 ± 0,01 ^d	0,46 ± 0,01 ^{cd}
e_3.nap_a	11,81	2,11	230,94 ± 4,69 ^{abcd}	1,00 ± 0,01 ^a	0,74 ± 0,03 ^{cd}	0,46 ± 0,04 ^{bcd}
e_3.nap_b	11,00	2,00	311,38 ± 28,88 ^{de}	1,01 ± 0,02 ^a	0,75 ± 0,01 ^{bcd}	0,47 ± 0,01 ^{bcd}
e_3.nap_c	10,71	1,99	327,89 ± 12,07 ^e	0,97 ± 0,05 ^a	0,73 ± 0,01 ^d	0,44 ± 0,01 ^d
e_3.nap_d	12,12	2,04	271,51 ± 28,35 ^{bcd}	1,00 ± 0,01 ^a	0,74 ± 0,01 ^{cd}	0,47 ± 0,02 ^{bcd}
e_3.nap_e	11,53	1,97	285,71 ± 31,22 ^{bcd}	1,00 ± 0,01 ^a	0,76 ± 0,01 ^{abcd}	0,48 ± 0,01 ^{bcd}

A sokkolt elősütött termékekre kidolgozott módszer validálása során a keménység szempontjából az 1. és 2. napi párhuzamos mérések egyike sem mutatott szignifikáns eltérést,

a 3. napi párhuzamosok között is csak 1 helyen – az „a” és „c” jelű minták esetén – volt jelentős a különbség. Annak ellenére, hogy a „a” és „c” minták eltértek egymástól, a másik három aznapi párhuzamos mérés egyikétől sem különböztek szignifikánsan. A rugalmasságra – a sokkolt kenyerekre kifejlesztett módszerhez hasonlóan – igaz, hogy az azonos napon végzett mérések, és a napok közötti párhuzamosok tekintetében sem mutatott ki jelentős eltérést a statisztikai elemzés. A kohézió eredményeinek elemzése azt mutatja, hogy a 2. és 3. napi mérések egyike sem különbözött szignifikánsan semelyik azonos napi párhuzamostól. Az első napon végzett mérések között is mindössze az „a” és „d” jelű minták esetében volt jelentős eltérés, azonban külön-külön egyik minta sem tért el a másik három aznapi mérés eredményétől. A ruganyosságra, a rugalmassághoz hasonlóan fennállt, hogy az azonos napi párhuzamosok között egyik nap sem volt jelentős eltérés. Összegezve, az elősütött és sokkolt pékárukra kifejlesztett termékteszt reprodukálhatóságának vizsgálata során, a rugalmasság és ruganyosság esetén sem volt szignifikáns különbség egyik azonos napi párhuzamos között sem. A keménység és kohézió esetén is mindössze 1-1 napon két minta tért el egymástól jelentősen, azonban az említett minták mindegyike statisztikailag azonos volt az aznap mért másik három értékkel. Egyik paraméter vizsgálata esetén sem volt olyan minta, ami az összes többi, vele egy napon minősített kenyértől szignifikánsan különbözött volna.

4.3.2 A különböző napokon végzett mérések összehasonlítása a módszer ismételhetőségének meghatározására

A reprodukálhatóság vizsgálata érdekében végzett mérések napok közötti statisztikai elemzését az állományvizsgálat paramétereit mellett a sütési veszteség és fajlagos térfogat esetén is elvégeztem. A napok közötti összehasonlítás eredményei sokkolt termékek esetén a *11. táblázatban*, elősütött és sokkolt termékek esetén a *12. táblázatban* találhatók. A különböző napokon készült kenyerek küllemét és bélzetét a scannelt képek alapján szemrevételezéssel is összehasonlítottam (*25. ábra; 26. ábra*).

11. táblázat: A sokkolt kenyerek eltérő napokon végzett minősítésének eredményei

	Sütési vesztesség [%]	Fajlagos térfogat [cm ³ /g]	Keményység [g]	Rugalmasság [-]	Kohézió [-]	Ruganyosság [-]
s_1.nap	15,23 ± 0,45 ^a	2,05 ± 0,04 ^{ab}	296,05 ± 52,39 ^a	1,02 ± 0,05 ^a	0,78 ± 0,02 ^a	0,54 ± 0,03 ^a
s_2.nap	15,02 ± 0,24 ^a	2,12 ± 0,04 ^a	295,42 ± 50,05 ^a	1,02 ± 0,04 ^a	0,79 ± 0,01 ^a	0,54 ± 0,02 ^a
s_3.nap	15,23 ± 0,15 ^a	1,97 ± 0,04 ^b	317,88 ± 41,59 ^a	1,01 ± 0,03 ^a	0,78 ± 0,01 ^a	0,52 ± 0,02 ^a
módszer relatív hibája [%]	2,24	3,63	16,25	3,97	2,25	4,07

A sokkolt kenyerekre kifejlesztett módszerrel előállított kenyerek napok közötti összehasonlítása azt mutatja, hogy a fajlagos térfogat az egyetlen paraméter, amiben eltérés volt a napok között. A fajlagos térfogatra mért legkisebb (3.nap) és legnagyobb (2.nap) érték különbözött egymástól szignifikánsan, azonban az 1. nap során mért „középső” eredmény egyiktől sem tért el jelentősen. A fajlagos térfogatot leszámítva a többi paraméter – sütési veszteség, keménység, rugalmasság, kohézió, ruganyosság – mindegyikére igaz, hogy a napok közötti mérésekben nem mutatható ki szignifikáns eltérés.



25. ábra: A sokkolt pékáruk terméktesztjének fejlesztéséhez külön napokon előállított kenyerek

A különböző napon előállított sokkolt kenyerek kérgének és bélzetének színe is hasonló, a szeletek méretében (magasság, szélesség) sincs szemmel látható eltérés. A bélzet mindhárom esetben lyukacsos, a pórusok mérete hasonló, eloszlásuk nagyjából egyenletes a teljes szeletben.

12. táblázat: Az elősütött és sokkolt kenyerek eltérő napokon végzett minősítésének eredményei

	Sütési veszteség [%]	Fajlagos térfogat [cm ³ /g]	Keményiség [g]	Rugalmasság [-]	Kohézió [-]	Ruganyosság [-]
e_1.nap	11,93 ± 0,38 ^a	2,06 ± 0,07 ^a	238,31 ± 26,90 ^a	1,02 ± 0,04 ^a	0,77 ± 0,02 ^a	0,51 ± 0,02 ^a
e_2.nap	11,69 ± 0,45 ^a	1,98 ± 0,03 ^a	290,22 ± 30,35 ^a	1,00 ± 0,03 ^a	0,75 ± 0,01 ^b	0,47 ± 0,02 ^b
e_3.nap	11,43 ± 0,51 ^a	2,02 ± 0,05 ^a	288,27 ± 37,11 ^a	1,00 ± 0,02 ^a	0,75 ± 0,02 ^b	0,47 ± 0,02 ^b
módszer relatív hibája [%]	4,38	3,12	14,66	3,19	2,67	5,74

Az elősütött és sokkolt kenyerekre fejlesztett módszer reprodukálhatóságának vizsgálatából látszik, hogy a napok közötti eredményekben csak a kohézió és ruganyosság esetén volt eltérés. Mindkét paraméternél az 1. nap eredménye különbözött jelentősen a 2. és 3. nap értékeitől, a 2. és 3. nap eredményei között viszont nem volt szignifikáns eltérés. A többi négy paraméter – sütési veszteség, fajlagos térfogat, keménység, kohézió – egyikében sem mutatott ki szignifikáns különbséget a napok közötti eredményekben a statisztikai elemzés.



26. ábra: A sokkolt és elősütött pékáruk terméktesztjének fejlesztéséhez külön napokon előállított kenyerek

A különböző napon előállított elősütött és sokkolt kenyerek kérgének és bélzetének színe is hasonló, ránézésre a szeletek mérete (magassága, szélessége) nagyjából azonos. Mindhárom szeletnél megfigyelhető a lyukacsosság, a pórusok aprók és a teljes szeletben egyenletesen oszlanak el.

Összességében mind a sokkolt, mind az elősütött és sokkolt kenyerekre kifejlesztett termékteszt ismételhetőségének vizsgálata során, elenyésző esetben volt eltérés akár az azonos napon belüli, akár a napok közötti párhuzamos mérésekben. Amiatt, hogy az eredmények nagy része nem mutatott egymáshoz képest szignifikáns eltérést, a terméktesztet alkalmasnak találtam az eltérő gabonaőrlemények felhasználásával készült kenyerek

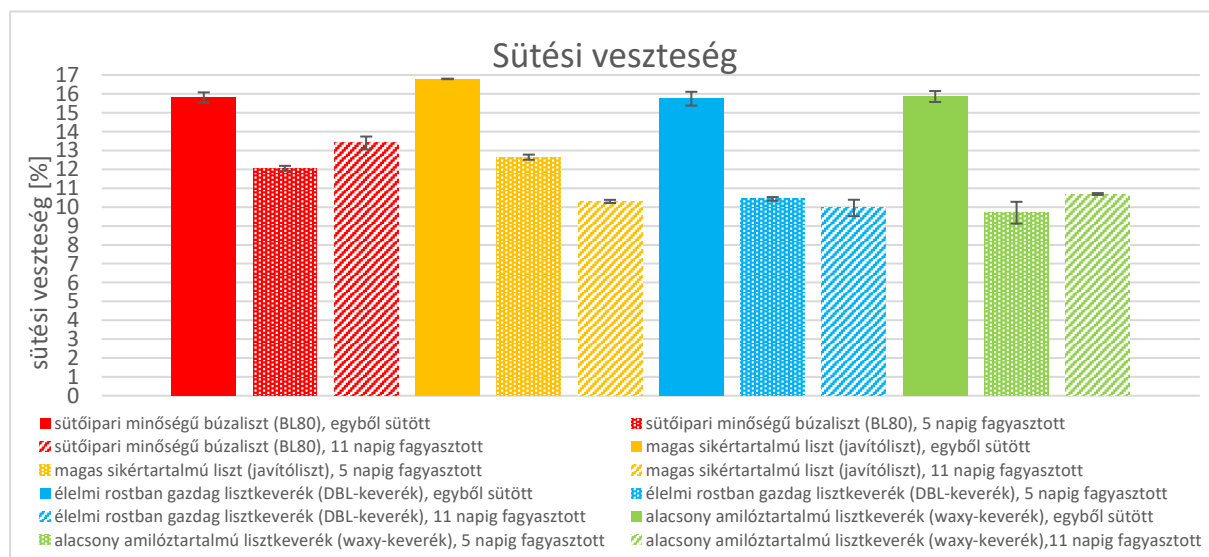
minőségének összehasonlítására, a módszert fel is használtam kutatásom következő szakaszában.

4.4 Végtermék minősítés

4.4.1 Sütési veszteség, fajlagos térfogat

Két alaplisztből (BL 80, magas sikértartalmú liszt), valamint a két lisztkeverékből (DBL-keverék, waxy-keverék) készítettem kenyeret, melyek egy részét egyből készre sütöttem, másik részét pedig elősütést követően 5-, illetve 11 napnyi fagyasztva tárolás után minősítettem. A másik két alaplisztből (DBL, waxy liszt) azért nem sütöttem, mert az eredeti célom az volt, hogy a fagyasztott és sokkolt termékek minőségét befolyásoló összetevők szerepét vizsgáljam. Ebben a tekintetben a DBL a rostok hatásának vizsgálatára, míg a waxy liszt a keményítőösszetétel változásának vizsgálatára adott lehetőséget. A két örleményt arra használtam, hogy a sütőipari minőségű búzaliszthez adagolva nézzem a hatásukat. A sokkolt termékek minőségét a frissen sült pékárukéhoz hasonlítottam, emellett vizsgáltam a fagyasztva tárolás hatását (5, illetve 11 nap) is, ami még jelenleg is folyamatban van hosszabb tárolási idő alkalmazásával.

Az egyből készre sült és az elősütött, sokkolt kenyerek sütési veszteségének értékeit, valamint fajlagos térfogatát az alábbi oszlopdiagramok szemléltetik, számértékeiket pedig a függelékben (5. függelék) lévő táblázat tartalmazza.



27. ábra: Az elősütött és sokkolt kenyerek sütési vesztesége

Az egyből sült és a fagyasztott kenyerek sütési veszteségeinek (27. ábra) összehasonlításából látszik, hogy minden minta esetén az egyből sült kenyerek sütési vesztesége volt nagyobb. Minden lisztnél szignifikáns volt a különbség a belőle előállított

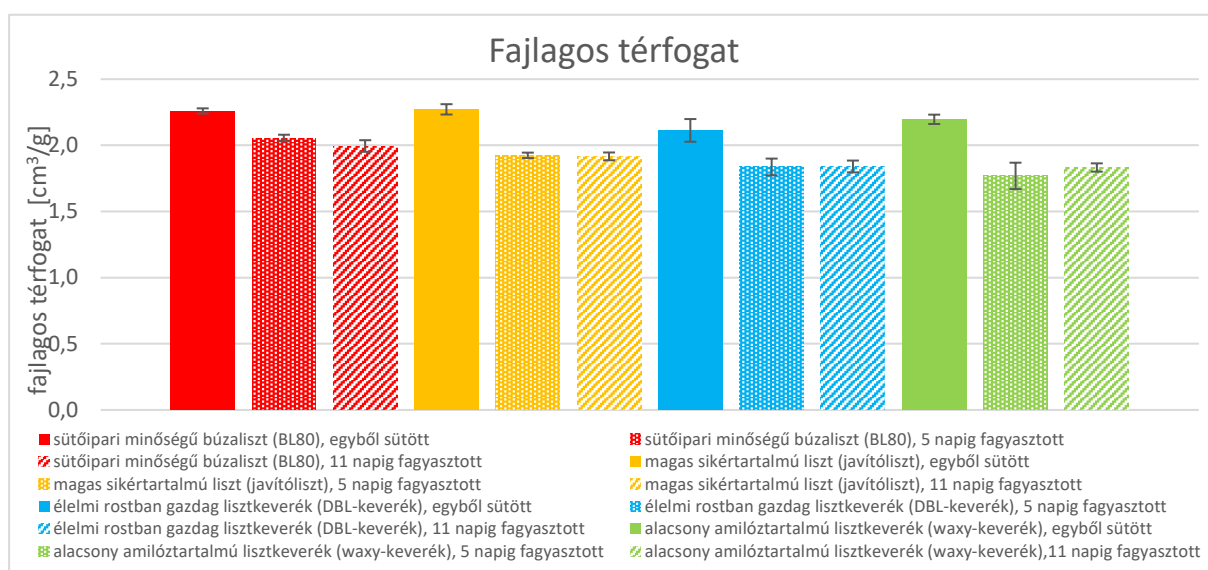
egyéből sütött, illetve 5 napig fagyasztott kenyér sütési vesztesége között. A sütési veszteség csökkenése a javítóliszt esetén a BL 80-hoz hasonló volt, míg a DBL és a waxy lisztnél nagyobb mértékű volt a csökkenés. A frissen sütött és fagyasztott kenyerek közti különbség oka lehet a tézstaszerkezet károsodása, ami miatt kevesebb vizet tud megtartani sütés során.

A frissen sütött kenyerek sütési veszteségének értékei 15,75-16,79% közötti tartományban oszlottak meg, a legkisebb veszteséget az egyéből sütött kenyerek között a DBL-keverék esetén mértem, a legnagyobbat pedig a javítólisztből készült kenyérnél. Az eredmények szűk tartományából is látszik, hogy a sütési veszteségek értéke nagyon hasonló, nincs szignifikáns különbség a minták között.

Az 5 napig fagyasztva tárolt kenyerek sütési veszteségének eredményei 9,70-12,65% tartományban oszlottak meg. A fagyasztott kenyerek között a waxy-keverék sütési vesztesége volt a legkisebb, a magas sikértartalmú lisztből készült mintáé, pedig a legnagyobb. A BL 80 és a magas sikértartalmú lisztből készült fagyasztott kenyerek sütési veszteségében egymáshoz képest nem volt jelentős eltérés, ugyanez igaz a DBL-, és waxy-keverék fagyasztott kenyereinek összehasonlítására is. A lisztkeverékekből készült kenyerek sütési vesztesége azonban szignifikánsan alacsonyabb volt a BL 80 és magas sikértartalmú liszt esetén mértekhez képest. A lisztkeverékek eltérése a javítóliszthez és a BL 80-as liszthez képest azzal magyarázható, hogy a DBL-keverékben a nagy mennyiségben jelen lévő élelmi rostok, míg, a waxy-keverékben az amilopektin nagy aránya miatt ez a két minta az alaplisztekhez képest jobban köti meg a vizet, így kevesebb távozik a tésztából sütés során.

A 11 napig fagyasztva tárolt minták sütési veszteségei 9,95-13,40% között alakultak, a legkisebb értéket a DBL-keverék, a legnagyobbat pedig a BL 80 esetén mértem. A négy minta közül egyedül a BL 80 tért el a többitől, ugyanis szignifikánsan nagyobb volt a sütési vesztesége a többi 11 napig fagyasztott kenyéréénél.

A tárolásnak nem volt hatása a sütési veszteségre, ugyanis az 5 és 11 napos tárolás során mért értékek között egyik liszt vizsgálata során sem volt eltérés.



28. ábra: Az elősütött és sokkolt kenyerek fajlagos térfogata

Az egyből sütött és a fagyasztott kenyerek fajlagos térfogatainak (28. ábra). összehasonlításából látszik, hogy minden minta esetén az egyből sütött kenyerek fajlagos térfogata volt nagyobb. A BL 80-as lisztből készült sokkolt kenyér volt az egyetlen, melynek fajlagos térfogata nem változott az 5 napos fagyasztás hatására. A magas sikértartalmú búzaliszt, valamint a DBL-, és waxy-keverék esetén is azt tapasztaltam, hogy 5 napos fagyasztás hatására jelentősen lecsökkent a fajlagos térfogat. A szakirodalom is beszámol a fagyasztva tárolás első heteiben a fajlagos térfogat csökkenéséről, aminek oka a tészta szerkezetének – elsődlegesen a síkérhálónak – a károsodása (Giannou & Tzia, 2007; Rosell & Santos, 2010).

Az egyből sütött kenyerek között a DBL-keverékből készült rendelkezett a legkisebb (2,11 cm³/g), a magas sikértartalmú búzalisztból előállított pedig a legnagyobb fajlagos térfogattal (2,27 cm³/g). Az egyből sütött kenyerek fajlagos térfogata – a sütési veszteséghez hasonlóan – közel azonos, nem volt köztük szignifikáns különbség.

Az 5 napig fagyasztva tárolt kenyerek fajlagos térfogata 1,77-2,06 cm³/g tartományban oszlott meg, a waxy-keverék esetén volt a legkisebb, a BL 80 esetén pedig a legnagyobb a paraméter értéke. Az egyből sütött kenyerekkel ellentétben a fagyasztva tárolt kenyereknél egyes esetekben már volt szignifikáns különbség az eredményekben. A DBL-keverékből készült kenyér az egyetlen a fagyasztottak között, aminek fajlagos térfogata nem tért el jelentősen semelyik 5 napig tárolt mintáétól. A BL 80 és a javítólisztből előállított fagyasztott kenyerek fajlagos térfogata között nem volt szignifikáns különbség. Ugyanakkor a waxy-

keverékes fagyasztott kenyerek fajlagos térfogata szignifikánsan kisebb volt, mint a BL80-as kenyereké. A javítólisztból készült kenyér nagy fajlagos térfogatának oka az lehet, hogy a magas sikértartalom miatt a tészta a keletkező gázokat jól vissza tudta tartani a kelesztés során, ugyanakkor még nem volt annyira erős a síkérháló, hogy a tészta ne tudott volna megkelni. Emellett a beltartalmi értékei nagyon hasonlóak a sütőipari minőségű búzaliszthez (BL 80), így viselkedésükben is várható hasonlóság. A rostadagolás fajlagos térfogatra kifejtett hatása tekintetében nem egységes a szakirodalom, viszont fellelhetőek az általam mértékhez hasonló eredmények, ugyanis beszámoltak már az élelmi rostok fajlagos térfogatra kifejtett kedvezőtlen hatásáról.

A 11 napos fagyasztás során a fajlagos térfogat $1,83\text{-}2,00\text{ cm}^3/\text{g}$ között változott, a waxy-keverékből készült kenyér rendelkezett a legkisebb, a BL 80 pedig a legnagyobb értékkel. A 11 napig tárolt minták egyikében sem volt statisztikailag kimutatható különbség.

A tárolásnak nem volt hatása a fajlagos térfogatra, ugyanis az 5 és 11 napos tárolás során mért értékek között egyik liszt vizsgálata során sem volt eltérés.

4.4.2 Bélzet jellemzőinek összehasonlítása

A kenyérszeletekről készített azonos méretarányú scannelt képek segítségével a bélzet szemmel látható jellemzőit is összehasonlítottam. Elsődlegesen a lyukacsosságot a pórusméretet és a gázsejtek eloszlását vettem figyelembe. Az egyből sült, valamint az 5 és 11 napig fagyasztott kenyerek bélzetét a 29. ábra szemlélteti.

A kutatás jelen állásában csak vizuális (érzékszervi) összehasonlításra volt lehetőségem, de folyamatban van a digitális képfeldolgozás módszertanának alkalmazása is.

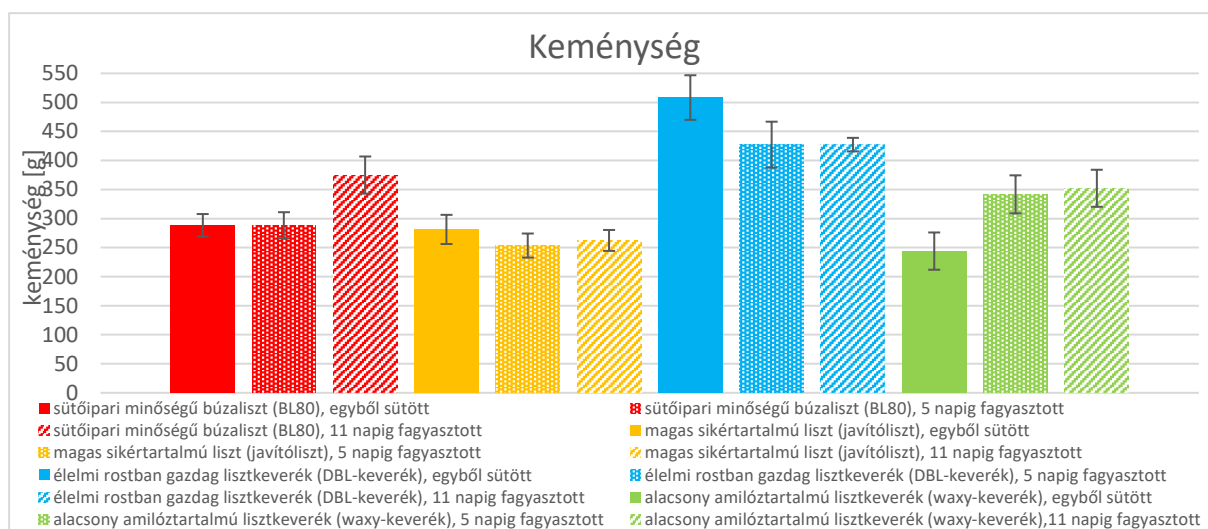


29. ábra: Az egyből sütött (felső sor), az 5 napig fagyasztott (középső sor), és a 11 napig fagyasztott (alsó sor) kenyerek béléze

A szeletek színében jól látható eltérés van, az élelmirostban gazdag búzalisztből készült kenyér kérge és béléze is sötétebb a többi mintánál. A BL 80 és waxy-keverékből készült kenyerek béléze nagyon hasonló, mindkét minta esetén a bélzet lyukacsos, apróbb pórusméret a jellemző, amik a teljes szeletben egyenletesen oszlanak el. Ez a bélzet szerkezet az egyből sütött, illetve 5 és 11 napig tárolt kenyerekre is jellemző az említett lisztok esetén. A javítóliszt felhasználásával készült egyből sütött kenyér béléze ránézésre nagyon hasonlít a BL és waxy-keverékes kenyérére, viszont a fagyasztott kenyerek bélézetében szemmel látható különbség van. A javítólisztes fagyasztott mintákban az apró gázbuborékok mellett megjelentek nagyobb gázsejtek is, jellemzően a szelet felső részén, a kéreghez közel. A DBL-keverékes kenyér béléze a legkevésbé lyukacsos, a legtömörebb az egyből sütött és fagyasztott kenyerek között is.

4.4.3 Bélzet állományvizsgálata

A sütési veszteséghez és fajlagos térfogathoz hasonlóan a két alaplisztből (BL 80, magas sikértartalmú liszt), valamint a két lisztkeverékből (DBL-keverék, waxy-keverék) készült, egyből sütött, illetve elősütés és sokkolás után 5- és 11 napig fagyasztva tárolt kenyerek állományvizsgálatát végeztem el. A vizsgált paraméterek (keménység, rugalmasság, kohézió, ruganyosság) értékeit oszlopdiagramon szemléltettem, a pontos mérési eredményeket pedig a függelékben (6. függelék) tüntettem fel.



30. ábra: Az elősütött és sokkolt kenyerek keménysége

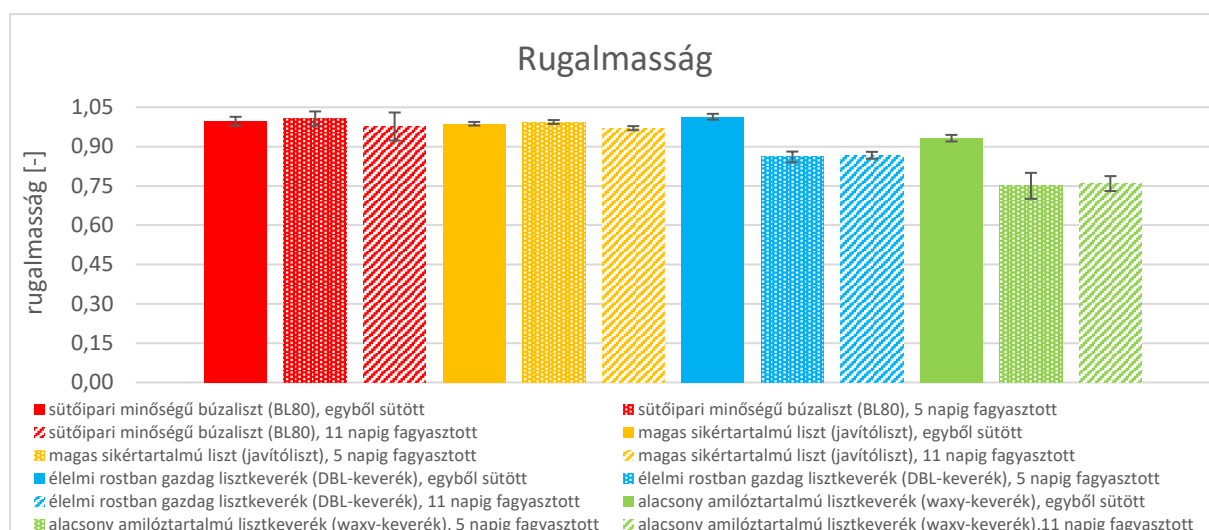
Az egyből sütött és a fagyasztott kenyerek keménységének (30. ábra) összehasonlításakor látható, hogy egyik minta esetén sem volt szignifikáns a különbség a belőle előállított egyből sütött, illetve 5 napig fagyasztott kenyérnél mért értékek között. Ugyan a különbségek nem szignifikánsak a magas sikértartalmú liszt és a DBL-keverék alkalmazásakor is megfigyelhető volt a keménységben egy csökkenő, a waxy liszt esetén egy növekvő tendencia 5 nap után.

Az egyből sütött kenyerek keménysége 244,00-508,37 g között változott. A legkisebb a waxy-keverékből, a legnagyobb pedig a DBL-keverékből előállított minta keménysége volt. A DBL-keverékből készült egyből sütött kenyér keménysége szignifikánsan magasabb volt az összes egyből sütött kenyérénél, értéke megközelítőleg kétszerese volt a többi termék esetén mértnek. A DBL-keverékből készült minta kivételével nem volt szignifikáns eltérés az egyből sütött kenyerek között. Ez a jelenség valószínűleg a kiugróan magas oldhatatlan élelmi rosttartalomnak köszönhető, ami általában növeli a keménységet.

Az 5 napig fagyasztott kenyerek keménysége - az egyből sütött kenyerekhez hasonlóan - a DBL-keveréket tartalmazó termékénél volt a legnagyobb (427,23 g). A legkisebb viszont - az egyből sütöttől eltérően - nem a waxy-keverék, hanem a magas sikértartalmú lisztből készült kenyér keménysége volt (253,56 g). A waxy-keverék felhasználásával készült sokkolt kenyér volt az egyetlen, ami nem tért el szignifikánsan egyik 5 napig tárolt mintától sem. A BL 80 és a javítólisztkevekből készült sokkolt kenyerek keménysége nem mutatott jelentős eltérést, azonban mindkét minta keménysége szignifikánsan kisebb volt a DBL-keverékből készült fagyasztott kenyerek értékénél.

11 nap tárolás után a keménység értéke 269,39-427,36 g között változott, a javítólisztes kenyérére volt a legalacsonyabb, a DBL-keverékesé, pedig a legnagyobb. A magas sikértartalmú liszttel készült kenyér keménységes szignifikánsan kisebb volt a többinél, a másik három minta, viszont nem mutatott eltérést.

A tárolásnak nem volt hatása a keménységre, mivel egyik mintánál sem volt szignifikáns különbség az 5 és 11 napig tárolt kenyerek között. A BL 80 alkalmazásakor a 11 napos fagyasztásnál, bár nem szignifikánsan, de nőtt a keménység az 5 naposhoz képest, elképzelhető, hogy hosszabb fagyasztva tárolás már jelentős különbséget okozna. A szakirodalom alapján a bélzet keménysége fagyasztás hatására általában növekszik a keményítő retrogradációja, vízvesztés és a víz újra eloszlásának hatására (Bárceñas & Rosell, 2007; Giannou & Tzia, 2007).



31. ábra: Az elősütött és sokkolt kenyerek rugalmassága

Az egyből sütött és a fagyasztott kenyerek rugalmasságának összehasonlítása (31. ábra) azt mutatja, hogy a BL 80 és a magas sikértartalmú liszt alkalmazásával a fagyasztott kenyerek rugalmassága nem változott szignifikánsan egyik egyből sütött kenyérhez képest sem. Ezzel szemben a DBL-, és a waxy-keverék esetén is elmondható, hogy a sokkolt termék rugalmassága szignifikánsan kisebb lett, mint az azonos lisztből készült egyből sütött kenyér esetén mért érték.

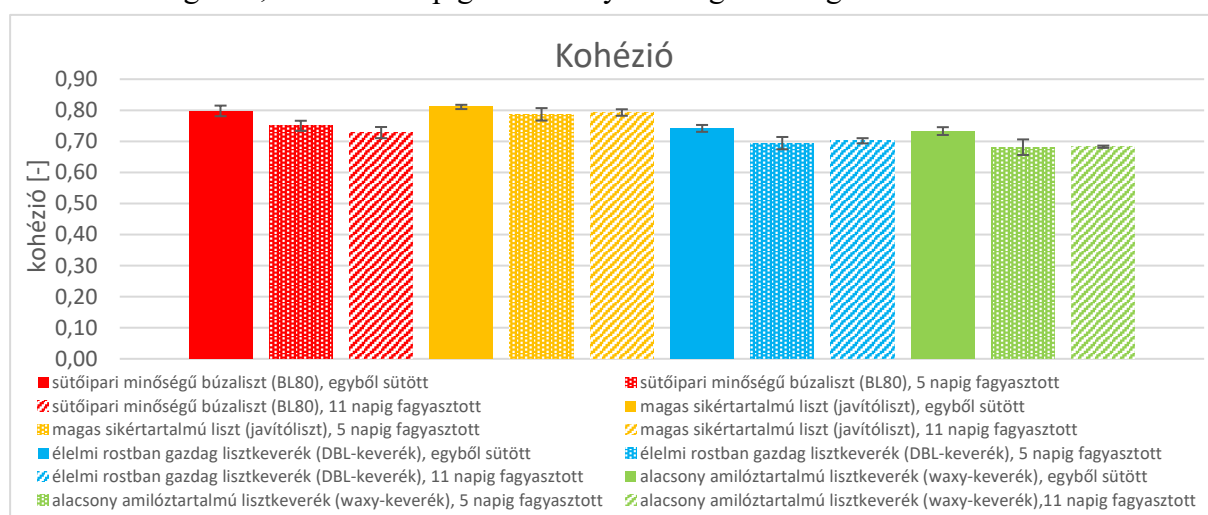
A rugalmasság értékei nagyon hasonlóak az összes egyből sütött kenyér esetén, minden érték 0,93-1,01 közé esett, a waxy-keverékes rugalmassága volt a legkisebb, a DBL-keveréké pedig a legnagyobb. Az eredmények szűk tartományi is mutatja, hogy a minták rugalmassága nagyon hasonló volt, egyik liszt alkalmazása sem okozott szignifikáns különbséget.

Az 5 napig fagyasztott kenyerek rugalmassága az egyből sütöthöz képest tágabb tartományban oszlott meg (0,75-1,01) a BL 80-as mintánál volt a legnagyobb, a waxy-keverékesnél pedig a legkisebb. A fagyasztott kenyerek között több esetben is találtam jelentős

eltérést. A BL 80 és a javítóliszt felhasználásával készült sokkolt termékek rugalmassága között nem volt szignifikáns különbség. Ezzel ellentétben a DBL-, és a waxy keverékekkel készült minták rugalmassága egyaránt jelentősen kisebb volt a másik két fagyasztott kenyér értékeitől.

11 nap fagyasztás után a rugalmasság 0,76-0,98 között változott, a BL 80-as mintánál volt a legnagyobb, a waxy-keverékesnél pedig a legkisebb. A minták összehasonlításáról ugyanaz mondható el, mint 5 nap fagyasztás után, a tendenciák teljesen megegyeznek.

A tárolásnak nem volt hatása a rugalmasságra, ugyanis, egyik liszt alkalmazásakor sem volt különbség az 5, illetve 11 napig tárolt kenyerek rugalmasságában.



32. ábra: Az elősütött és sokkolt kenyerek kohéziója

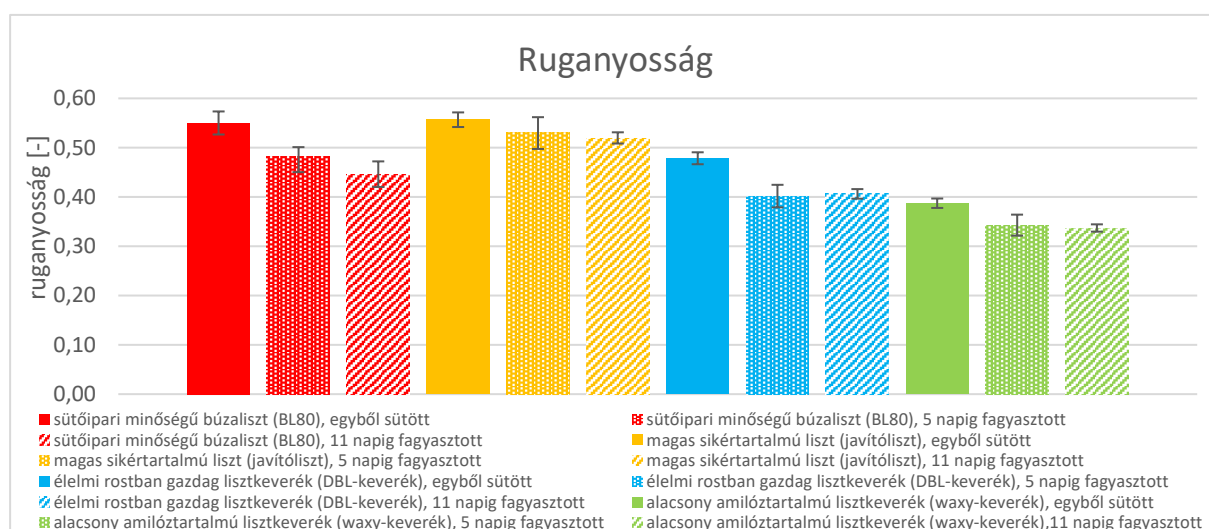
Az egyből sütött és a fagyasztott kenyerek kohéziójának (32. ábra) összehasonlításából az rajzolódik ki, hogy a lisztek – a BL 80 kivételével – közel azonos hatással voltak a paraméter értékére az előállítás módjától függetlenül. Annak ellenére, hogy bármely liszt esetén a fagyasztott termék kohéziója kisebb volt, mint az azonos lisztből készült egyből sütött kenyéré, a javítóliszt, DBL-, és waxy-keverék esetén sem volt szignifikáns a különbség. A BL 80 volt az egyetlen liszt, amelynek felhasználásával a fagyasztott kenyér kohéziójára 5 nap után szignifikánsan kisebb értéket mértem, mint az egyből sütött kenyérére.

A kohézió az egyből sütött kenyerek között a magas sikértartalmú liszt alkalmazása során volt a legnagyobb (0,81), a waxy-keverék alkalmazásakor pedig a legkisebb (0,73). A paraméter szempontjából az egyből sütött kenyerek két csoportra oszthatók, a BL 80 és javítólisztet tartalmazó minták kohéziójában nem volt szignifikáns különbség, ugyanez igaz a DBL-, és waxy-keveréket tartalmazó minták összehasonlítása esetén is. Az alaplisztek és lisztkeverékek alkalmazása azonban már szignifikáns különbséget okozott egymáshoz képest, ugyanis a lisztkeverékek felhasználásával készült minták kohéziója jelentősen kisebb, mint BL 80-as liszttel készült kenyereké.

Az 5 napig fagyasztott kenyerek között ugyancsak a javítóliszt esetén volt a legnagyobb (0,79), a waxy-keveréknél pedig a legkisebb a kohézió (0,68). A fagyasztott minták összehasonlítására a kohézió tekintetében ugyanazok az állítások helytállóak, amiket az egyből sült kenyerekre megfogalmaztam. Ugyanúgy nem volt szignifikáns különbség a két alapliszt és a két lisztkeverék egymással történő összehasonlítása során, csak az alaplisztek és a lisztkeverékek között. Ismét a lisztkeverékeket tartalmazó minták kohéziója volt jelentősen kisebb az alaplisztek tartalmazóknál.

A 11 napig tárolt kenyerek között ugyancsak a javítóliszt esetén volt a legnagyobb (0,79), a waxy-keveréknél pedig a legkisebb a kohézió (0,68). Az előző két esettel ellentétben a javítóliszt kohéziója a másik három mintáénál szignifikánsan nagyobb volt, a BL 80, DBL-keverék és waxy-keverék között viszont nem volt különbség.

A tárolásnak nem volt hatása a kohézióra, egyik vizsgált liszt esetén sem különbözött szignifikánsan az 5, illetve 11 napig tárolt kenyerek kohéziója.



33. ábra: Az elősütött és sokkolt kenyerek ruganyossága

Az egyből sült és a fagyasztott kenyerek ruganyosságának (33. ábra) összehasonlításakor látszik, hogy az alkalmazott lisztől függetlenül a ruganyosság mértéke az egyből sült kenyerekhez képest mindig kisebb lett a fagyasztott kenyerek esetén. A csökkenés azonban nem volt minden esetben szignifikáns. A javítóliszt és a waxy-keverék alkalmazásakor, ugyan megfigyelhető volt a ruganyosság csökkenése, az eltérés azonban nem jelentős az egyből sült, illetve sokkolt kenyerek között. A BL 80 és a DBL-keverék alkalmazása esetén viszont már szignifikánsan kisebb volt a fagyasztott kenyerek kohéziója 5 nap után, mint az egyből sült kenyerek esetén mért érték.

A ruganyosság értéke az egyből sütött kenyerek között a javítóliszt felhasználásakor volt a legnagyobb (0,56), a waxy-keverékkel készült terméknel pedig a legkisebb (0,39). Mindössze a BL 80 és a magas sikértartalmú liszt alkalmazása nem okozott egymáshoz képest jelentős eltérést. A DBL-, és a waxy-keverékkel készült kenyerek ruganyossága is szignifikánsan eltért sütőipari minőségű búzalisztból készült kenyérétől

Az 5 napig fagyasztott kenyerek között – az egyből sütött mintákhoz, és több paraméterhez hasonlóan – ugyancsak a magas sikértartalmú lisztet tartalmazó terméknek volt a legnagyobb (0,53), a waxy-keverékesnek pedig a legkisebb az értéke (0,34). Az 5 napig fagyasztott kenyerek ruganyosság szempontjából két csoportra oszthatók. A BL 80 és javítólisztet tartalmazó sokkolt kenyerek ruganyosságában nem volt szignifikáns különbség, ugyanez igaz a DBL-, és waxy-keveréket tartalmazó minták összehasonlítása esetén is. Az alaplisztek és lisztkeverékek felhasználása azonban egymáshoz képest már szignifikáns különbséget okozott, ugyanis a lisztkeverékekkel készült minták ruganyossága jelentősen kisebb, mint az alaplisztekkel készült kenyereké.

11 napos tárolás után a korábban leírtakhoz hasonlóan a javítólisztet tartalmazó terméknek volt a legnagyobb (0,52), a waxy-keverékesnek pedig a legkisebb az értéke (0,34) a ruganyossága. Változás azonban, hogy a ruganyossága a 11 napig tárolt kenyerek között minden mintánál jelentősen nagyobb, a waxy-keverékes pedig mindegyiknél jelentősen kisebb volt. A BL 80 és DBL-keveréket tartalmazó kenyér között nem volt különbség a paraméter értékében.

A tárolásnak nem volt hatása a ruganyosságra, az 5, illetve 11 napig fagyasztott minták nem tértek el egymástól egyik minta esetén sem.

A rugalmasság, kohézió és a ruganyosság is a rágás modellezéséből származó paraméterek. Összességében elmondható, hogy ezekben a paraméterekben az egyből sütött és fagyasztott kenyerek között nem sokszor volt különbség. A tárolásnak nem volt hatása egyik említett paraméterre sem, az 5 és 11 napig tárolt azonos lisztből készült minták között egyszer sem mutattam ki eltérést. Ennek az lehet az oka, hogy célzottan sokkolt termékekhez kifejlesztett adalékanyagot használtam a mintákhoz. Habár az adalékanyag pontos összetétele nem ismert, valószínűsíthetően a bélzet megfelelő állományának fenttartása lehet a feladata, ezért elfedhette a fagyasztva tárolás valódi hatását. Célszerű lehet a minősítést hosszabb tárolási idő után is elvégezni, valamint adalékanyag használata nélkül is vizsgálni a hatásokat.

5. Következtetések

A sokkolt kenyerek minőségének javítása szempontjából három dolgot vizsgáltam: a javítólisztnek és a lisztkeverékeknek van-e az alapliszthez képest eltérő hatása a mért paraméterekre; a sokkolásnak van-e hatása a frissen sütéshez képest; a végtermék minőségére hatással van-e a tárolási idő növelése, azaz van-e változás a fagyasztás alatt.

A sütési veszteség, a fajlagos térfogat és a rugalmasság értékében sem okozott változást sem a javítóliszt sem a lisztkeverékek alkalmazása a BL 80-hoz képest. A keménység tekintetében az élelmi rostban gazdag búzaliszt volt az egyetlen, aminek alkalmazásakor eltérést tapasztaltam a BL 80-hoz képest, a bélzet keménysége nőtt a lisztkeverék alkalmazásával. Ez valószínűleg a DBL kiugróan magas oldhatatlan élelmi rosttartalmának köszönhető, ami általában növeli a keménységet. A kohézió és a ruganyosság esetében a javítóliszt alkalmazása nem okozott eltérést a BL 80-hoz képest, a lisztkeverékek alkalmazásának hatására viszont a csökkent mindkét paraméter értéke. Ez a lisztkeverékek és a sütőipari minőségű búzaliszt beltartalmi összetételének eltéréseivel magyarázható.

Fagyasztás hatására a sütési veszteség és a fajlagos térfogat értéke is csökkent minden vizsgált liszt esetén. A szakirodalom is beszámol a fajlagos térfogat csökkenéséről a fagyasztva tárolás első heteiben, aminek oka a tészta szerkezetének – elsődlegesen a síkérhálónak – a károsodása. A keménység nem változott jelentősen fagyasztás hatására, ugyanakkor tendenciák megfigyelhetőek voltak. A javítóliszt és a DBL esetén csökkenő, a waxy liszt esetén növekvő tendencia indult el. A szakirodalom alapján a bélzet keménysége fagyasztás hatására általában növekszik, a keményítő retrogradációja, vízvesztés és a víz újra eloszlása miatt. Az én eredményeim ettől a megfelelő alapanyagválasztás miatt térhettek el.

A tárolási idő növelése nem befolyásolta a végtermék minőségét. A vizsgált 5, illetve 11 napig tárolt minták között, semelyik liszt alkalmazása esetén sem volt szignifikáns különbség egyik paraméter értékében sem. Ennek egyik oka az lehet, hogy a tárolás valódi hatásai csak hosszabb idő után jelentkeznek, emellett az is elképzelhető, hogy a sokkolt termékekre kifejlesztett adalékanyag elmaszkírozta a fagyasztva tárolás valódi hatásait.

A javítóliszt, valamint a DBL-, és waxy-lisztkeverék is alkalmas megfelelő minőségű sokkolt kenyerek előállítására, ugyanis a vizsgált minták, fagyasztott termékek minőségére gyakorolt hatása nagyrészt a BL 80-as liszthez hasonló volt. Ugyanakkor az alapanyag pontos megválasztásához a hosszabb időtartamú tárolás eredményei is szükségesek. A rostdús örlemény alkalmazása nem csak megfelelő minőségű, hanem egészségesebb kenyerek előállítását eredményezheti.

6. Összefoglalás

Kutatómunkám alapvető célja a sokkolt pékáruk minőségjavítási lehetőségeinek vizsgálata, az eltérő beltartalmi összetételű, illetve viszkózus-, és dagasztási tulajdonságokkal rendelkező lisztek és gabonaőrlemények végtermék minőségére kifejtett hatásainak tanulmányozása volt. Mivel egységes vizsgálati módszertan nem áll rendelkezésre, ezért munkám első fázisában céljaim között szerepelt egy reprodukálható laboratóriumi termékteszt kidolgozása is. Munkám során eltérő siker-, és élelmirost tartalmú, illetve keményítőösszetételű liszteket vizsgáltam analitikai és reológiai módszerekkel, valamint elvégeztem a különböző minőségű és összetételű liszt(keverék)ekből készült, elősütött és sokkolt kenyerek minősítését.

Az alaplisztek beltartalmi összetételét tekintve az élelmi rostban gazdag búzaliszt mutatta a legnagyobb eltéréseket a nyersfehérje-, nyerszsír-, teljes és oldhatatlan élelmi rost-, hamu-, valamint keményítőtartalom esetén is. A javítóliszt sikértartalma, illetve a waxy búzaliszt amilóz/amilopektin aránya szolgáltatott még nagy eltérést az alaplisztek között.

Az eltérő beltartalmi összetétel hatásai visszaköszöttek mind a viszkózus, mind a dagasztási tulajdonságokban. A viszkózus tulajdonságokban a DBL és a waxy liszt mutatta a legnagyobb eltéréseket. A dagasztási tulajdonságok pedig a DBL mellett a javítólisztnél különböztek leginkább. Két lisztkeverék (DBL-keverék és waxy-keverék) viszkózus és dagasztási tulajdonságait is vizsgáltam. Mindkét lisztkeverék viselkedése a mérések során az alaplisztjei közül a sütőipari minőségű búzalisztre hasonlított jobban.

A végtermék minősége szempontjából a javítóliszt alkalmazása nem okozott eltérést a BL 80-as liszthez képest, míg a DBL alkalmazása növelte a keménységet és mindkét lisztkeverékek csökkentette a kohéziót és ruganyosságot. A fagyasztásnak a sütési veszteségre és a fajlagos térfogatra volt hatása minden liszt esetén, az említett paraméterek értéke csökkent fagyasztás hatására. A tárolási idő növelésének egyik paraméterre sem volt hatása.

A dolgozat a kutatás eddigi eredményeit tartalmazza. A munkát folytatjuk. Többek között vizsgálom a hosszabb távú, több hónapos fagyasztva tárolás minőségre gyakorolt hatását. Terveink között szerepel a minősítés módszertanának továbbfejlesztése például a digitális képfeldolgozás alkalmazásával, érzékszervi vizsgálatok kialakításával, illetve az alapanyagok minőségre gyakorolt hatásának alaposabb, molekuláris szintű megértését segítő vizsgálatok (fehérjeösszetétel, szénhidrátösszetétel vizsgálata, szerkezet elektronmikroszkópos tanulmányozása, stb.) elvégzésével. Eredményeink hozzájárulhatnak a megfelelő alapanyag kiválasztásához, illetve segíthetik a termékminőség és stabilitás javítását.

7. Irodalomjegyzék

- Adams, V., Ragaee, S., & Abdel-Aal, E. M. (2015). Impact of Wheat Fiber on Frozen Dough Shelf Life and Bread Quality. *Cereal Chemistry*, 92(4), 370–377. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-01-15-0016-R>
- Ahmed, J. (2015). Effect of barley β -glucan concentrate on oscillatory and creep behavior of composite wheat flour dough. *Journal of Food Engineering*, 152, 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.11.018>
- Ai, Y., & Jane, J. I. (2016). Starch: Structure, Property, and Determination. In *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 165–174). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00657-7>
- Almeida, E. L., Chang, Y. K., & Steel, C. J. (2013). Dietary fibre sources in frozen part-baked bread: Influence on technological quality. *LWT - Food Science and Technology*, 53(1), 262–270. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.01.008>
- Amr, A., Saleh, M., Taibi, A., & Alkhamaiseh, A. (2023). Effect of Wheat Bran Levels and Particle Size on the Rheological Properties of Wheat Flour Dough. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 19(1), 56–68. <https://doi.org/10.35516/jjas.v19i1.155>
- Andrzej, K. M., Małgorzata, M., Sabina, K., Horbańczuk, O. K., & Rodak, E. (2020). Application of rich in β -glucan flours and preparations in bread baked from frozen dough. *Food Science and Technology International*, 26(1), 53–64. <https://doi.org/10.1177/1082013219865379>
- Asghar, A., Anjum, F. M., Butt, M. S., & Hussain, S. (2006a). *Functionality of Different Surfactants and Ingredients in Frozen Dough*.
- Asghar, A., Anjum, F. M., Butt, M. S., & Hussain, S. (2006b). Shelf Life and Stability Study of Frozen Dough Bread by the Use of Different Hydrophillic Gums. *International Journal of Food Engineering*, 2(3). <https://doi.org/10.2202/1556-3758.1040>
- Autio, K., & Laurikainen, T. (1997). Relationships between flour/dough microstructure and dough handling and baking properties. *Trends in Food Science & Technology*, 8(6), 181–185. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(97\)01039-X](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(97)01039-X)
- Bae, W., Lee, B., Hou, G. G., & Lee, S. (2014). Physicochemical characterization of whole-grain wheat flour in a frozen dough system for bake off technology. *Journal of Cereal Science*, 60(3), 520–525. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.08.006>
- Balet, S., Guelpa, A., Fox, G., & Manley, M. (2019). Rapid Visco Analyser (RVA) as a Tool for Measuring Starch-Related Physicochemical Properties in Cereals: a Review. *Food Analytical Methods*, 12(10), 2344–2360. <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01581-w>
- Banu, I., Măcelaru, I., & Aprodu, I. (2017). Bioprocessing for Improving the Rheological Properties of Dough and Quality of the Wheat Bread Supplemented with Oat Bran. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(5), e13112. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13112>
- Bárcenas, M. E., Haros, M., Benedito, C., & Rosell, C. M. (2003). Effect of freezing and frozen storage on the staling of part-baked bread. *Food Research International*, 36(8), 863–869. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(03\)00093-0](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(03)00093-0)

- Bárcenas, M. E., & Rosell, C. M. (2005). Effect of HPMC addition on the microstructure, quality and aging of wheat bread. *Food Hydrocolloids*, 19(6), 1037–1043. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.01.005>
- Bárcenas, M. E., & Rosell, C. M. (2007). Different approaches for increasing the shelf life of partially baked bread: Low temperatures and hydrocolloid addition. *Food Chemistry*, 100(4), 1594–1601. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.12.043>
- Barrett, A., Cardello, A., Maguire, P., Richardson, M., Kaletunc, G., & Lesher, L. (2002). Effects of Sucrose Ester, Dough Conditioner, and Storage Temperature on Long-Term Textural Stability of Shelf-Stable Bread. *Cereal Chemistry*, 79(6), 806–811. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2002.79.6.806>
- Bason, M. L., Dang, J. M. C., & Charrié, C. (2005). COMPARISON OF THE DOUGHLAB AND FARINOGRAPH FOR TESTING FLOUR QUALITY. In *Using Cereal Science and Technology for the Benefit of Consumers* (pp. 276–282). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9781845690632.7.276>
- Biliaderis, C. G., Izydorczyk, M. S., & Rattan, O. (1995). Effect of arabinoxylans on bread-making quality of wheat flours. *Food Chemistry*, 53(2), 165–171. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(95\)90783-4](https://doi.org/10.1016/0308-8146(95)90783-4)
- Boita, E. R. F., Oro, T., Bressiani, J., Santetti, G. S., Bertolin, T. E., & Gutkoski, L. C. (2016). Rheological properties of wheat flour dough and pan bread with wheat bran. *Journal of Cereal Science*, 71, 177–182. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.08.015>
- Bojnanska, T., Tokar, M., & Vollmannova, A. (2015). Rheological parameters of dough with inulin addition and its effect on bread quality. *Journal of Physics: Conference Series*, 602, 012015. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/602/1/012015>
- Brennan, C. S., & Cleary, L. J. (2007). Utilisation Glucagel® in the β -glucan enrichment of breads: A physicochemical and nutritional evaluation. *Food Research International*, 40(2), 291–296. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.09.014>
- Brouns, F., Hemery, Y., Price, R., & Anson, N. M. (2012). Wheat Aleurone: Separation, Composition, Health Aspects, and Potential Food Use. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(6), 553–568. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.589540>
- Buksa, K., Praznik, W., Loeppert, R., & Nowotna, A. (2016). Characterization of water and alkali extractable arabinoxylan from wheat and rye under standardized conditions. *Journal of Food Science and Technology*, 53(3), 1389–1398. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2135-2>
- Campbell, G. M., Ross, M., & Motoi, L. (2008). Bran in Bread: Effects of Particle Size and Level of Wheat and Oat Bran on Mixing, Proving and Baking. In *Bubbles in Food 2* (pp. 337–354). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-1-891127-59-5.50037-7>
- Chavan, R. S., Khedkar, C. D., & Bhatt, S. (2016). Fat Replacer. In *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 589–595). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00271-3>
- Codex Alimentarius Hungaricus. (2008). *Codex Alimentarius Hungaricus 3-2-2008/1*. https://Ellelmiszerlanc.Kormany.Hu/Download/f/5b/A2000/3-2-2008_1.Pdf
- Cui, S. W., Nie, S., & Roberts, K. T. (2011). Functional Properties of Dietary Fiber. In *Comprehensive Biotechnology* (pp. 517–525). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-088504-9.00315-9>

- Cui, S. W., Wu, Y., & Ding, H. (2013). The range of dietary fibre ingredients and a comparison of their technical functionality. In *Fibre-Rich and Wholegrain Foods* (pp. 96–119). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857095787.1.96>
- Dapčević-Hadnađev, T., Hadnađev, M., & Pojić, M. (2018). The healthy components of cereal by-products and their functional properties. In *Sustainable Recovery and Reutilization of Cereal Processing By-Products* (pp. 27–61). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102162-0.00002-2>
- Dewettinck, K., Van Bockstaele, F., Kühne, B., Van de Walle, D., Courtens, T. M., & Gellynck, X. (2008). Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception. *Journal of Cereal Science*, 48(2), 243–257. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.01.003>
- Du, B., Meenu, M., Liu, H., & Xu, B. (2019). A Concise Review on the Molecular Structure and Function Relationship of β -Glucan. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(16), 4032. <https://doi.org/10.3390/ijms20164032>
- Dubat, A., & Boinot, N. (2012). *Mixolab applications Handbook Rheological and enzyme analyses Analysis methods Studies and applications*.
- Duță, D. E., Culețu, A., & Mohan, G. (2018). Reutilization of cereal processing by-products in bread making. In *Sustainable Recovery and Reutilization of Cereal Processing By-Products* (pp. 279–317). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102162-0.00010-1>
- Eskin, N. A. M. (2019). Bioactive Gums. In *Encyclopedia of Food Chemistry* (pp. 267–270). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22356-1>
- Farkas, A., Szabó, E., Horváth, A., Jaksics, E., Németh, R., & Tömösközi, S. (2023). Development and application of a laboratory baking test for the characterisation of wholemeal oat flours. *Journal of Cereal Science*, 114, 103761. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2023.103761>
- Feng, W., Ma, S., & Wang, X. (2020). Recent advances in quality deterioration and improvement of starch in frozen dough. *Grain & Oil Science and Technology*, 3(4), 154–163. <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2020.07.002>
- Fik, M., & Surówka, K. (2002). Effect of prebaking and frozen storage on the sensory quality and instrumental texture of bread. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(11), 1268–1275. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1176>
- Garimella Purna, S. K., Shi, Y., Guan, L., Wilson, J. D., & Graybosch, R. A. (2015). Factors Governing Pasting Properties of Waxy Wheat Flours. *Cereal Chemistry*, 92(5), 529–535. <https://doi.org/10.1094/CCEM-10-14-0209-R>
- Giannou, V., Kessoglou, V., & Tzia, C. (2003). Quality and safety characteristics of bread made from frozen dough. *Trends in Food Science & Technology*, 14(3), 99–108. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00278-9](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00278-9)
- Giannou, V., & Tzia, C. (2007). Frozen dough bread: Quality and textural behavior during prolonged storage – Prediction of final product characteristics. *Journal of Food Engineering*, 79(3), 929–934. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.013>
- Giannou, V., & Tzia, C. (2016). Addition of Vital Wheat Gluten to Enhance the Quality Characteristics of Frozen Dough Products. *Foods*, 5(1), 6. <https://doi.org/10.3390/foods5010006>

- Gómez, M., Ronda, F., Blanco, C. A., Caballero, P. A., & Apesteguía, A. (2003). Effect of dietary fibre on dough rheology and bread quality. *European Food Research and Technology*, 216(1), 51–56. <https://doi.org/10.1007/s00217-002-0632-9>
- Guo, L., Xu, D., Fang, F., Jin, Z., & Xu, X. (2020). Effect of glutathione on wheat dough properties and bread quality. *Journal of Cereal Science*, 96, 103116. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103116>
- Guo, X., Yang, S., & Zhu, K. (2018). Impact of arabinoxylan with different molecular weight on the thermo-mechanical, rheological, water mobility and microstructural characteristics of wheat dough. *International Journal of Food Science & Technology*, 53(9), 2150–2158. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13802>
- Gys, W., Courtin, C. M., & Delcour, J. A. (2003). Refrigerated Dough Syruping in Relation to the Arabinoxylan Population. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(14), 4119–4125. <https://doi.org/10.1021/jf034060a>
- Gys, W., Courtin, C. M., & Delcour, J. A. (2004). Reduction of xylanase activity in flour by debranning retards syruping in refrigerated doughs. *Journal of Cereal Science*, 39(3), 371–377. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2004.01.003>
- Hamed, A., Ragaei, S., & Abdel-Aal, E. M. (2014). Effect of β -Glucan-Rich Barley Flour Fraction on Rheology and Quality of Frozen Yeasted Dough. *Journal of Food Science*, 79(12). <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12702>
- Harasztos, A., Balázs, G., Csőke, P. N., D'Amico, S., Schönlechner, R., & Tömösközi, S. (2016). How Arabinoxylans Modify Gluten and Starch Related Wheat Flour Characteristics. *Acta Alimentaria*, 45(2), 215–223. <https://doi.org/10.1556/AAlim.2015.0010>
- Huang, J., Wang, Z., Fan, L., & Ma, S. (2022). A review of wheat starch analyses: Methods, techniques, structure and function. *International Journal of Biological Macromolecules*, 203, 130–142. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.01.149>
- Hussain, S., Alamri, M. S., Mohamed, A. A., Ibraheem, M. A., Qasem, A. A. A., Shamlan, G., & Ababtain, I. A. (2022). Exploring the Role of Acacia (Acacia seyal) and Cactus (Opuntia ficus-indica) Gums on the Dough Performance and Quality Attributes of Breads and Cakes. *Foods*, 11(9), 1208. <https://doi.org/10.3390/foods11091208>
- Islam, M. A., & Islam, S. (2024). Sourdough Bread Quality: Facts and Factors. *Foods*, 13(13), 2132. <https://doi.org/10.3390/foods13132132>
- Izydorczyk, M. S., & Biliaderis, C. G. (1995). Cereal arabinoxylans: advances in structure and physicochemical properties. *Carbohydrate Polymers*, 28(1), 33–48. [https://doi.org/10.1016/0144-8617\(95\)00077-1](https://doi.org/10.1016/0144-8617(95)00077-1)
- Izydorczyk, M. S., Cenkowski, S., & Dexter, J. (2014). Optimizing the Bioactive Potential of Oat Bran by Processing. *Cereal Foods World*, 59(3), 127–136. <https://doi.org/10.1094/CFW-59-3-0127>
- Jaksics, E., Paszerbovics, B., Egri, B., Rakszegi, M., Tremmel-Bede, K., Vida, G., Gergely, S., Németh, R., & Tömösközi, S. (2020). Complex rheological characterization of normal, waxy and high-amylose wheat lines. *Journal of Cereal Science*, 93, 102982. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102982>
- Jarosław Wyrwisz, M. K. (2015). The Application of Dietary Fiber in Bread Products. *Journal of Food Processing & Technology*, 06(05). <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000447>

- Jiang, H., McClements, D. J., Dai, L., Qin, Y., Ji, N., Xiong, L., Qiu, C., & Sun, Q. (2024). Effects of moisture content and retrogradation on structure and properties of indica rice flour and starch gels. *Food Hydrocolloids*, 150, 109657. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109657>
- Johnson, M. (2015). "Overview of Texture Profile Analysis." December 2015, Modified October 2023. *Texture Technologies Corporation Web Site*.
<https://Texturetechnologies.Com/Resources/Texture-Profile-Analysis#tpa-Measurements>;
Megtekintve: 2024.10.01.
- Karaoglu, M. M. (2015). *Part-Baked Products* (pp. 151–172). https://doi.org/10.1007/978-3-319-10677-9_8
- Karim, A. (2000). Methods for the study of starch retrogradation. *Food Chemistry*, 71(1), 9–36. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00130-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00130-8)
- Kaur, K., & Singh, N. (1999). EFFECT OF ACETIC ACID AND CMC ON RHEOLOGICAL AND BAKING PROPERTIES OF FLOUR. *Journal of Food Quality*, 22(3), 317–327. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.1999.tb00560.x>
- Kenny, S., Grau, H., & Arendt, E. (2001). Use of response surface methodology to investigate the effects of processing conditions on frozen dough quality and stability. *European Food Research and Technology*, 213(4–5), 323–328. <https://doi.org/10.1007/s002170100366>
- Koegelenberg, D., & Chimphango, A. F. A. (2017). Effects of wheat-bran arabinoxylan as partial flour replacer on bread properties. *Food Chemistry*, 221, 1606–1613. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.130>
- Kohajdová, Z., & Karovičová, J. (2009). Application of hydrocolloids as baking improvers. *Chemical Papers*, 63(1). <https://doi.org/10.2478/s11696-008-0085-0>
- Kopeć, A., Pysz, M., Borczak, B., Sikora, E., Rosell, C. M., Collar, C., & Sikora, M. (2011). Effects of sourdough and dietary fibers on the nutritional quality of breads produced by bake-off technology. *Journal of Cereal Science*, 54(3), 499–505. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.07.008>
- Lazaridou, A., & Biliaderis, C. G. (2007). Molecular aspects of cereal β -glucan functionality: Physical properties, technological applications and physiological effects. *Journal of Cereal Science*, 46(2), 101–118. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.05.003>
- Le Bail, A., Monteau, J. Y., Margerie, F., Lucas, T., Chargelegue, A., & Reverdy, Y. (2005). Impact of selected process parameters on crust flaking of frozen partly baked bread. *Journal of Food Engineering*, 69(4), 503–509. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.09.006>
- Leray, G., Oliete, B., Mezaize, S., Chevallier, S., & de Lamballerie, M. (2010). Effects of freezing and frozen storage conditions on the rheological properties of different formulations of non-yeasted wheat and gluten-free bread dough. *Journal of Food Engineering*, 100(1), 70–76. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.03.029>
- Liu L.-Y., Yue Y., Lin Y.-J., Zhou X.-R., Tong L.-T., Wang L.-L., & Zhou S.-M. (2018). Effects of Wheat Bran Particle Size on the Rheological Property of Whole Wheat Dough and Buns Quality. *Modern Food Science and Technology*.
- Liu, N., Ma, S., Li, L., & Wang, X. (2019). Study on the effect of wheat bran dietary fiber on the rheological properties of dough. *Grain & Oil Science and Technology*, 2(1), 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2019.04.005>

- Lucas, T., Quéllec, S., Le Bail, A., & Davenel, A. (2005). Chilling and freezing of part-baked bread. Part II: Experimental assessment of water phase changes and structure collapse. *Journal of Food Engineering*, 70(2), 151–164. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.09.021>
- Luo, D., Kou, X., Zhang, T., Nie, Y., Xu, B., Li, P., Li, X., Han, S., & Liu, J. (2018). Effect of inulin on rheological properties of soft and strong wheat dough. *International Journal of Food Science & Technology*, 53(7), 1648–1656. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13748>
- Ma, S., Li, L., Wang, X., Zheng, X., Bian, K., & Bao, Q. (2016). Effect of mechanically damaged starch from wheat flour on the quality of frozen dough and steamed bread. *Food Chemistry*, 202, 120–124. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.075>
- Magalhães, F., Calton, A., Heiniö, R.-L., & Gibson, B. (2021). Frozen-dough baking potential of psychrotolerant *Saccharomyces* species and derived hybrids. *Food Microbiology*, 94, 103640. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2020.103640>
- McNamara, J. T., Morgan, J. L. W., & Zimmer, J. (2015). A Molecular Description of Cellulose Biosynthesis. *Annual Review of Biochemistry*, 84(1), 895–921. <https://doi.org/10.1146/annurev-biochem-060614-033930>
- Mendis, M., & Simsek, S. (2015). Production of structurally diverse wheat arabinoxylan hydrolyzates using combinations of xylanase and arabinofuranosidase. *Carbohydrate Polymers*, 132, 452–459. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.05.083>
- Meziani, S., Kaci, M., Jacquot, M., Jasiewicz, J., Ribotta, P., Muller, J.-M., Ghoul, M., & Desobry, S. (2012). Effect of freezing treatments and yeast amount on sensory and physical properties of sweet bakery products. *Journal of Food Engineering*, 111(2), 336–342. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.02.015>
- Minervini, F., Pinto, D., Di Cagno, R., De Angelis, M., & Gobbetti, M. (2011). Scouting the application of sourdough to frozen dough bread technology. *Journal of Cereal Science*, 54(3), 296–304. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.06.003>
- Morris, C., & Morris, G. A. (2012). The effect of inulin and fructo-oligosaccharide supplementation on the textural, rheological and sensory properties of bread and their role in weight management: A review. *Food Chemistry*, 133(2), 237–248. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.01.027>
- Nemeth, L. J., Paulley, F. G., & Preston, K. R. (1996). Effects of ingredients and processing conditions on the frozen dough bread quality of a Canada Western Red Spring wheat flour during prolonged storage. *Food Research International*, 29(7), 609–616. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(96\)00070-1](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(96)00070-1)
- Németh, R., Bánfalvi, Á., Csendes, A., Kemény, S., & Tömösközi, S. (2018). Investigation of scale reduction in a laboratory bread-making procedure: Comparative analysis and method development. *Journal of Cereal Science*, 79, 267–275. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.11.009>
- Ozturk, S., Kahraman, K., Tiftik, B., & Koksel, H. (2008). Predicting the cookie quality of flours by using Mixolab®. *European Food Research and Technology*, 227(5), 1549–1554. <https://doi.org/10.1007/s00217-008-0879-x>
- Pareyt, B., Finnie, S. M., Putseys, J. A., & Delcour, J. A. (2011). Lipids in bread making: Sources, interactions, and impact on bread quality. *Journal of Cereal Science*, 54(3), 266–279. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.08.011>

- Peressini, D., & Sensidoni, A. (2009). Effect of soluble dietary fibre addition on rheological and breadmaking properties of wheat doughs. *Journal of Cereal Science*, 49(2), 190–201. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.09.007>
- Pérez-Quirce, S., Lazaridou, A., Biliaderis, C. G., & Ronda, F. (2017). Effect of β -glucan molecular weight on rice flour dough rheology, quality parameters of breads and in vitro starch digestibility. *LWT - Food Science and Technology*, 82, 446–453. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.065>
- Punia, S., Sandhu, K. S., Dhull, S. B., Siroha, A. K., Purewal, S. S., Kaur, M., & Kidwai, Mohd. K. (2020). Oat starch: Physico-chemical, morphological, rheological characteristics and its applications - A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 154, 493–498. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.083>
- Qian, X., Gu, Y., Sun, B., Ma, S., Tian, X., & Wang, X. (2022). Improvement in quality of fast-frozen steamed bread by different gluten content and glutenin/gliadin ratio and its mechanism. *LWT*, 153, 112562. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112562>
- Rayner, M., Östbring, K., & Purhagen, J. (2016). Application of Natural Polymers in Food. In *Natural Polymers* (pp. 115–161). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26414-1_5
- Ribotta, P. D., & Le Bail, A. (2007). Thermo-physical and thermo-mechanical assessment of partially baked bread during chilling and freezing process. *Journal of Food Engineering*, 78(3), 913–921. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.11.032>
- Ribotta, P. D., León, A. E., & Añón, M. C. (2001). Effect of Freezing and Frozen Storage of Doughs on Bread Quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(2), 913–918. <https://doi.org/10.1021/jf000905w>
- Ribotta, P. D., León, A. E., & Añón, M. C. (2006). Frozen Dough. In *Bakery Products* (pp. 381–392). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470277553.ch21>
- Rieder, A., Holtekjølén, A. K., Sahlstrøm, S., & Moldestad, A. (2012). Effect of barley and oat flour types and sourdoughs on dough rheology and bread quality of composite wheat bread. *Journal of Cereal Science*, 55(1), 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.10.003>
- Ronda, F., Quilez, J., Pando, V., & Roos, Y. H. (2014). Fermentation time and fiber effects on recrystallization of starch components and staling of bread from frozen part-baked bread. *Journal of Food Engineering*, 131, 116–123. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.01.023>
- Rosell, C. M. (2015). *Processing, Quality and Storage of Part-Baked Products* (pp. 173–192). https://doi.org/10.1007/978-3-319-10677-9_9
- Rosell, C. M., & Gómez, M. (2007). Frozen Dough and Partially Baked Bread: An Update. *Food Reviews International*, 23(3), 303–319. <https://doi.org/10.1080/87559120701418368>
- Rosell, C. M., Rojas, J. A., & Benedito de Barber, C. (2001). Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids*, 15(1), 75–81. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(00\)00054-0](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(00)00054-0)
- Rosell, C. M., & Santos, E. (2010). Impact of fibers on physical characteristics of fresh and staled bake off bread. *Journal of Food Engineering*, 98(2), 273–281. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.01.008>

- Rosell, C. M., Santos, E., Sanz Penella, J. M., & Haros, M. (2009). Wholemeal wheat bread: A comparison of different breadmaking processes and fungal phytase addition. *Journal of Cereal Science*, 50(2), 272–277. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.06.007>
- Ruska, L., & Timar, A. (2010). Effects of ingredients and processing conditions on the quality frozen dough bread made from different wheat flour. *Acta Agraria Debreceniensis*, 1, 115–120. <https://doi.org/10.34101/ACTAAGRARI/1/8388>
- Saeed, F., Ahmad, N., Nadeem, M. T., Qamar, A., Khan, A. U., & Tufail, T. (2016). Effect of Arabinoxylan on Rheological Attributes and Bread Quality of Spring Wheats. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(6), 1164–1170. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12697>
- Saeed, F., Arshad, M. U., Pasha, I., Suleria, H. A. R., Arshad, M. S., Qamar, A., Ullah, A., & Sultan, S. (2015). Effect of Arabinoxylan and Arabinogalactan on Textural Attributes of Bread. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 1070–1088. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12322>
- Sahlström, S., Park, W., & Shelton, D. R. (2004). Factors Influencing Yeast Fermentation and the Effect of LMW Sugars and Yeast Fermentation on Hearth Bread Quality. *Cereal Chemistry*, 81(3), 328–335. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2004.81.3.328>
- Saikia, D., & Sit, N. (2014). Effect of Using Sourdough and Frozen Dough for Preparation of Breads on Quality, Shelf Life and Staling. *American Journal of Food Technology*, 9(4), 223–230. <https://doi.org/10.3923/ajft.2014.223.230>
- Salinas, M. V., Zuleta, A., Ronayne, P., & Puppo, M. C. (2012). Wheat Flour Enriched with Calcium and Inulin: A Study of Hydration and Rheological Properties of Dough. *Food and Bioprocess Technology*, 5(8), 3129–3141. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0691-7>
- Sapirstein, H. D. (2016). Bioactives in Wheat Bran. In *Reference Module in Food Science*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.00109-8>
- Selomulyo, V. O., & Zhou, W. (2007). Frozen bread dough: Effects of freezing storage and dough improvers. *Journal of Cereal Science*, 45(1), 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2006.10.003>
- Sharadanant, R., & Khan, K. (2003). Effect of Hydrophilic Gums on the Quality of Frozen Dough: II. Bread Characteristics. *Cereal Chemistry*, 80(6), 773–780. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2003.80.6.773>
- Sharadanant, R., & Khan, K. (2006). Effect of Hydrophilic Gums on the Quality of Frozen Dough: Electron Microscopy, Protein Solubility, and Electrophoresis Studies. *Cereal Chemistry*, 83(4), 411–417. <https://doi.org/10.1094/CC-83-0411>
- Shewry, P. R., Joy, E. J. M., De La Revilla, L. S., Hansen, A., Brennan, J., & Lovegrove, A. (2023). Increasing fibre in white flour and bread: Implications for health and processing. *Nutrition Bulletin*, 48(4), 587–593. <https://doi.org/10.1111/nbu.12648>
- Singh, H., & MacRitchie, F. (2001). Application of Polymer Science to Properties of Gluten. *Journal of Cereal Science*, 33(3), 231–243. <https://doi.org/10.1006/jcrs.2000.0360>
- Skendi, A., Biliaderis, C. G., Papageorgiou, M., & Izydorczyk, M. S. (2010). Effects of two barley β -glucan isolates on wheat flour dough and bread properties. *Food Chemistry*, 119(3), 1159–1167. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.030>

- Sroan, B. S., & MacRitchie, F. (2009). Mechanism of gas cell stabilization in breadmaking. II. The secondary liquid lamellae. *Journal of Cereal Science*, 49(1), 41–46. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.07.004>
- Stecchini, M. L., Maltini, E., Venir, E., Del Torre, M., & Prospero, L. (2002). Properties of Wheat Dough at Sub-Zero Temperatures and Freeze Tolerance of a Baker's Yeast (*Saccharomyces cerevisiae*). *Journal of Food Science*, 67(6), 2196–2201. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb09526.x>
- Su, T.-C., Du, W.-K., Deng, B.-Y., Zeng, J., Gao, H.-Y., Zhou, H.-X., Li, G.-L., Zhang, H., Gong, Y.-M., & Zhang, J.-Y. (2023). Effects of sodium carboxymethyl cellulose on storage stability and qualities of different frozen dough. *Heliyon*, 9(8), e18545. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18545>
- Suchintita Das, R., Tiwari, B. K., & Garcia-Vaquero, M. (2023). The Fundamentals of Bread Making: The Science of Bread. In *Traditional European Breads* (pp. 1–40). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-23352-4_1
- Sudha, M. L., Vetrarani, R., & Leelavathi, K. (2007). Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. *Food Chemistry*, 100(4), 1365–1370. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.12.013>
- Sun, X., Scanlon, M. G., Nickerson, M. T., & Koksel, F. (2023). The entrainment and evolution of gas bubbles in bread dough—A review. *Cereal Chemistry*, 100(5), 1031–1047. <https://doi.org/10.1002/cche.10699>
- Sun, X., Wu, S., Koksel, F., Xie, M., & Fang, Y. (2023). Effects of ingredient and processing conditions on the rheological properties of whole wheat flour dough during breadmaking - A review. *Food Hydrocolloids*, 135, 108123. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108123>
- Uthayakumaran, S., & Wrigley, C. (2017). Wheat: Grain-Quality Characteristics and Management of Quality Requirements. In *Cereal Grains* (pp. 91–134). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100719-8.00005-X>
- Van Hung, P., Maeda, T., & Morita, N. (2006). Waxy and high-amylose wheat starches and flours—characteristics, functionality and application. *Trends in Food Science & Technology*, 17(8), 448–456. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.12.006>
- Verdonck, C., De Bondt, Y., Pradal, I., Bautil, A., Langenaeken, N. A., Brijs, K., Goos, P., De Vuyst, L., & Courtin, C. M. (2023). Impact of process parameters on the specific volume of wholemeal wheat bread made using sourdough- and baker's yeast-based leavening strategies. *International Journal of Food Microbiology*, 396, 110193. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2023.110193>
- Voragen, F., Beldman, G., & Schols, H. (2000). Chemistry and Enzymology of Pectins. In *Advanced Dietary Fibre Technology* (pp. 379–398). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470999615.ch33>
- Vulicevic, I. R., Abdel-Aal, E.-S. M., Mittal, G. S., & Lu, X. (2004). Quality and storage life of par-baked frozen breads. *LWT - Food Science and Technology*, 37(2), 205–213. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2003.07.006>
- Wang, J., Rosell, C. M., & Benedito de Barber, C. (2002). Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food Chemistry*, 79(2), 221–226. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00135-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00135-8)

- Wang, Y., Zhang, X., Tian, X., Wang, Y., Xing, X., & Song, S. (2024). Research progress on the functions, preparation and detection methods of l-fucose. *Food Chemistry*, 433, 137393. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137393>
- Whitehurst, R. J. (Ed.). (2004). *Emulsifiers in Food Technology*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470995747>
- Wolt, M. J., & D'Appolonia, B. L. (1984). Factors involved in the stability of frozen dough. II. The effects of yeast type, flour type, and dough type additives on frozen-dough stability. *Cereal Chem*, 61(3), 213–221.
- Xuan, Y.-F., Zhang, Y., Zhao, Y.-Y., Zheng, Z., Jiang, S.-T., & Zhong, X.-Y. (2017). Effect of hydroxypropylmethylcellulose on transition of water status and physicochemical properties of wheat gluten upon frozen storage. *Food Hydrocolloids*, 63, 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.08.025>
- Yadav D., Pakti P., & Sharma G. (2009). Role of ingredients and processing variables on the quality retention in frozen bread dough: a review. *Int. J. Food Sci. Technol.*
- Yadav, K., Yadav, S., Anand, G., Yadav, P. K., & Yadav, D. (2023). Hydrolysis of complex pectin structures: Biocatalysis and bioproducts. In *Polysaccharide-Degrading Biocatalysts* (pp. 205–225). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99986-1.00011-9>
- Yan, W., Yin, L., Zhang, M., Zhang, M., & Jia, X. (2021). Gelatinization, Retrogradation and Gel Properties of Wheat Starch–Wheat Bran Arabinoxylan Complexes. *Gels*, 7(4), 200. <https://doi.org/10.3390/gels7040200>
- Yan, W., Zhang, M., Zhang, M., Yadav, M. P., Jia, X., & Yin, L. (2022). Effect of wheat bran arabinoxylan on the gelatinization and long-term retrogradation behavior of wheat starch. *Carbohydrate Polymers*, 291, 119581. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119581>
- Yang, J., Zhang, B., Zhang, Y., Rasheed, M., Gu, S., & Guo, B. (2021). Effect of freezing rate and frozen storage on the rheological properties and protein structure of non-fermented doughs. *Journal of Food Engineering*, 293, 110377. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110377>
- Yi, J., Johnson, J. W., & Kerr, W. L. (2009). Properties of bread made from frozen dough containing waxy wheat flour. *Journal of Cereal Science*, 50(3), 364–369. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.07.002>
- Yi, J., & Kerr, W. L. (2009). Combined effects of freezing rate, storage temperature and time on bread dough and baking properties. *LWT - Food Science and Technology*, 42(9), 1474–1483. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.05.017>
- Zannini, E., Bravo Núñez, Á., Sahin, A. W., & Arendt, E. K. (2022). Arabinoxylans as Functional Food Ingredients: A Review. *Foods (Basel, Switzerland)*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/foods11071026>
- Zaparenko, A., Dorozhko, V., Didenko, S., Holyk, O., & Novik, A. (2023). INVESTIGATION OF THE FUNCTIONAL PROPERTIES OF WAXY WHEAT FLOUR. *Food Science and Technology*, 17(1). <https://doi.org/10.15673/fst.v17i1.2561>
- Zhang, B., Omedi, J. O., Zheng, J., Huang, W., Jia, C., Zhou, L., Zou, Q., Li, N., & Gao, T. (2021). Exopolysaccharides in sourdough fermented by *Weissella confusa* QS813 protected protein

- matrix and quality of frozen gluten-red bean dough during freeze-thaw cycles. *Food Bioscience*, 43, 101180. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101180>
- Zhang, D., & Moore, W. R. (1997). Effect of Wheat Bran Particle Size on Dough Rheological Properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 74(4), 490–496. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199708\)74:4<490::AID-JSFA822>3.0.CO;2-0](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199708)74:4<490::AID-JSFA822>3.0.CO;2-0)
- Zhang, H., Fan, H., Xu, X., & Xu, D. (2024). Deterioration mechanisms and quality improvement methods in frozen dough: An updated review. *Trends in Food Science & Technology*, 143, 104251. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104251>
- Zhu, X.-F., Tao, H., Wang, H.-L., & Xu, X.-M. (2023). Impact of water soluble arabinoxylan on starch-gluten interactions in dough. *LWT*, 173, 114289. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114289>

8. Függelék

1. függelék: A vizsgált minták beltartalmi értékei

	BL 80	magas sikértartalmú	DBL	DBL- keverék	waxy	waxy- keverék
nedvesség [%]	9,65 ± 0,76	14,17 ± 0,30	11,53 ± 0,52	10,21	12,96 ± 0,04	10,64
nyersfehérje [sz.a.%]	14,76 ± 0,06 ^a	15,57 ± 0,03 ^b	20,81 ± 0,08 ^c	16,58	14,36 ± 0,09 ^d	14,64
nyerszsír [sz.a.%]	1,80 ± 0,02 ^a	1,04 ± 0,02 ^b	3,16 ± 0,17 ^c	2,21	1,52 ± 0,01 ^a	1,72
hamu [sz.a.%]	0,89 ± 0,01 ^a	0,61 ± 0,09 ^a	3,95 ± 0,10 ^b	1,81	0,78 ± 0,06 ^a	0,86
teljes ételmi rost [sz.a.%]	4,27 ^a	3,11 ^b	19,99 ^c	8,99	4,37 ^a	4,30
oldhatatlan ételmi rost [sz.a.%]	3,45 ^a	2,45 ^a	19,11 ^b	8,15	3,44 ^a	3,45
oldható ételmi rost [sz.a.%]	0,82 ^a	0,66 ^b	0,88 ^c	0,84	0,93 ^d	0,85
nedvessikér [sz.a.%]	30,69 ± 0,01 ^a	45,50 ± 0,16 ^b			34,26 ± 0,08 ^c	31,76
keményítő [sz.a.%]	78,27 ^a	79,67 ^a	52,09 ^b	70,42	78,98 ^a	78,48
amilóz/amilopektin arány	0,15 ± 0,005 ^a	0,13 ± 0,001 ^b	0,19 ± 0,003 ^c	0,16	0,04 ± 0,002 ^d	0,12

2. függelék: Az RVA paraméterek pontos értékei

	BL 80	magas sikértartalmú	DBL	DBL keverék	waxy	waxy keverék
Csúcsviszkózitás [cP]	2306,00 ± 19,80 ^a	2891,50 ± 26,16 ^b	871,00 ± 1,41 ^c	1897,50 ± 2,12 ^d	2628,00 ± 132,94 ^e	1790,50 ± 38,89 ^d
Csirizesedési idő [min]	6,23 ± 0,14 ^a	6,37 ± 0,14 ^a	5,2 ± 0,05 ^b	6,10 ± 0,05 ^a	3,67 ± 0,00 ^c	6,10 ± 0,05 ^a
Csirizesedési hőmérséklet [°C]	67,83 ± 0,04 ^{ab}	66,25 ± 1,20 ^a	86,40 ± 0,07 ^c	69,38 ± 0,04 ^b	67,40 ± 0,49 ^{ab}	67,75 ± 0,00 ^{ab}
Forró tézta viszkózitás [cP]	1457,00 ± 12,73 ^a	1921,00 ± 21,21 ^b	531,00 ± 5,66 ^c	1186,50 ± 7,78 ^d	881,50 ± 0,71 ^e	1108,50 ± 38,89 ^f
Végső viszkózitás [cP]	2593,00 ± 5,66 ^a	3076,00 ± 4,24 ^b	997,00 ± 15,56 ^c	2190,50 ± 3,54 ^d	1229,00 ± 11,31 ^e	1938,00 ± 53,74 ^f

3. függelék: A micro-DoughLAB-bal meghatározott paraméterek pontos értéke

	BL 80	magas sikértartalmú	DBL	DBL keverék	waxy	waxy keverék
tésztakialakulási idő [min]	2,00 ± 0,57 ^a	3,70 ± 0,42 ^{bc}	4,05 ± 0,07 ^{bc}	3,25 ± 0,21 ^{ab}	4,60 ± 0,28 ^c	3,25 ± 0,21 ^{ab}
stabilitás [min]	3,20 ± 0,57 ^{ab}	5,50 ± 0,42 ^c	2,15 ± 0,07 ^a	2,75 ± 0,07 ^{ab}	3,90 ± 0,14 ^b	3,30 ± 0,42 ^{ab}
ellágyulás [FU]	92,50 ± 24,75 ^{ab}	57,50 ± 3,54 ^a	50,00 ± 7,07 ^a	82,50 ± 3,54 ^{ab}	112,5 ± 3,54 ^b	115 ± 0,00 ^b
alkalmazott vízabszorpció [%]	61,00	57,80	70,80	64,80	67,20	61,80

4. függelék: A Mixolabbal mért paraméterek pontos értékei

	BL 80	magas sikértartalmú	DBL	DBL keverék	waxy	waxy keverék
C1 [Nm]	1,10 ± 0,01	1,11 ± 0,00	1,11 ± 0,00	1,10 ± 0,02	1,12 ± 0,03	1,13 ± 0,01
C1 [min]	3,33 ± 0,06 ^a	9,10 ± 0,21 ^b	4,42 ± 0,26 ^c	3,72 ± 0,02 ^{ad}	5,14 ± 0,08 ^e	4,05 ± 0,11 ^{cd}
C2 [Nm]	0,48 ± 0,01 ^a	0,60 ± 0,00 ^b	0,45 ± 0,01 ^c	0,48 ± 0,00 ^a	0,34 ± 0,00 ^d	0,46 ± 0,00 ^{ac}
C3 [Nm]	1,61 ± 0,02 ^a	1,93 ± 0,00 ^b	1,32 ± 0,01 ^c	1,55 ± 0,01 ^d	0,58 ± 0,01 ^e	1,32 ± 0,01 ^c
C4 [Nm]	1,43 ± 0,07 ^a	1,36 ± 0,01 ^a	0,94 ± 0,01 ^b	1,21 ± 0,08 ^c	0,37 ± 0,00 ^d	0,88 ± 0,01 ^b
C5 [Nm]	2,58 ± 0,24 ^a	3,34 ± 0,10 ^b	1,32 ± 0,00 ^c	2,05 ± 0,07 ^d	0,60 ± 0,00 ^e	1,37 ± 0,01 ^c
stabilitás [min]	6,00 ± 0,57 ^{ab}	9,65 ± 0,07 ^c	5,30 ± 0,00 ^a	6,90 ± 0,85 ^{abd}	8,35 ± 0,07 ^{cd}	7,6 ± 0,14 ^{bd}
alkalmazott vízabszorpció [%]	56,00	58,80	70,50	60,50	66,00	58,70

5. függelék: Az elősütött kenyerek sütési veszteségének és fajlagos térfogatának értékei

	Sütési veszteség [%]	Fajlagos térfogat [cm ³ /g]
BL 80 egyből sütött	15,81 ± 0,27 ^a	2,26 ± 0,02 ^a
magas sikértartalmú egyből sütött	16,79 ± 0,01 ^a	2,27 ± 0,04 ^a
DBL-keverék egyből sütött	15,75 ± 0,37 ^a	2,11 ± 0,09 ^{abc}
waxy-keverék egyből sütött	15,86 ± 0,29 ^a	2,20 ± 0,04 ^{ab}
BL 80 5 napig fagyasztott	12,05 ± 0,14 ^b	2,06 ± 0,03 ^{abcd}
magas sikértartalmú 5 napig fagyasztott	12,65 ± 0,14 ^b	1,92 ± 0,02 ^{bcde}
DBL-keverék 5 napig fagyasztott	10,43 ± 0,10 ^c	1,84 ± 0,06 ^{de}
waxy-keverék 5 napig fagyasztott	9,70 ± 0,58 ^c	1,77 ± 0,10 ^e
BL 80 11 napig fagyasztott	13,40 ± 0,34 ^b	2,00 ± 0,04 ^{bcde}
magas sikértartalmú 11 napig fagyasztott	10,30 ± 0,08 ^c	1,91 ± 0,03 ^{cde}
DBL-keverék 11 napig fagyasztott	9,95 ± 0,44 ^c	1,84 ± 0,05 ^{cde}
waxy-keverék 11 napig fagyasztott	10,69 ± 0,05 ^c	1,83 ± 0,03 ^{de}

6. függelék: Az elősütött kenyerek bélzetállomány-vizsgálatának értékei

	Keménység [g]	Rugalmasság [-]	Kohézió [-]	Ruganyosság [-]
BL 80 egyből sütött	288,39 ± 19,41 _{abc}	1,00 ± 0,01 ^a	0,80 ± 0,02 ^a	0,55 ± 0,02 ^a
magas sikértartalmú egyből sütött	281,34 ± 25,09 _{abc}	0,99 ± 0,01 ^a	0,81 ± 0,01 ^a	0,56 ± 0,01 ^a
DBL-keverék egyből sütött	508,37 ± 38,38 _d	1,01 ± 0,05 ^a	0,74 ± 0,01 _{bcde}	0,48 ± 0,01 ^{bc}
waxy-keverék egyből sütött	244,00 ± 32,08 _a	0,93 ± 0,06 ^{ab}	0,73 ± 0,01 _{cdef}	0,39 ± 0,01 ^{def}
BL 80 5 napig fagyasztott	288,52 ± 22,47 _{abc}	1,01 ± 0,03 ^a	0,75 ± 0,02 _{bcd}	0,48 ± 0,02 ^{bc}
magas sikértartalmú 5 napig fagyasztott	253,56 ± 20,74 _{ab}	0,99 ± 0,01 ^a	0,79 ± 0,02 _{abc}	0,53 ± 0,03 ^{ab}
DBL-keverék 5 napig fagyasztott	427,23 ± 39,57 _{de}	0,86 ± 0,02 ^b	0,69 ± 0,02 ^{ef}	0,40 ± 0,02 ^{def}
waxy-keverék 5 napig fagyasztott	341,69 ± 32,74 _{abce}	0,75 ± 0,05 ^c	0,68 ± 0,03 ^f	0,34 ± 0,02 ^{ef}
BL 80 11 napig fagyasztott	374,92 ± 31,97 _{ce}	0,98 ± 0,05 ^a	0,73 ± 0,02 _{def}	0,45 ± 0,03 ^{cd}
magas sikértartalmú 11 napig fagyasztott	269,39 ± 18,00 _{ab}	0,97 ± 0,01 ^a	0,79 ± 0,01 ^{ab}	0,52 ± 0,01 ^{ab}
DBL-keverék 11 napig fagyasztott	427,36 ± 11,64 _{de}	0,87 ± 0,01 ^b	0,70 ± 0,01 _{def}	0,41 ± 0,01 ^{de}
waxy-keverék 11 napig fagyasztott	352,16 ± 31,90 _{bce}	0,76 ± 0,03 ^c	0,68 ± 0,00 ^f	0,34 ± 0,01 ^f