



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Gluténmentes lisztkeverék fejlesztése és a végtermék vizsgálata a fogyasztói szempontok figyelembevételével

Tóth Marcell László

Budapest

2022

A doktori iskola

megnevezése: Élelmiszertudományi Doktori Iskola

tudományága: Élelmiszertudományok

vezetője: Simonné Dr. Sarkadi Livia
Egyetemi tanár, DSc
MATE, Élelmiszertudományi Kar
Élelmiszerkémiai és Táplálkozástudományi Tanszék

Témavezetők: Dr. Vatai Gyula
Egyetemi tanár, DSc
MATE, Élelmiszertudományi Kar
Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszék

Dr. Koris András
Egyetemi docens, PhD
MATE, Élelmiszertudományi Kar
Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszék

A doktori iskola- és a témavezetők jóváhagyó aláírása:

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

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

Tartalomjegyzék

JELÖLÉSEK, RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE.....	1
1. BEVEZETÉS.....	2
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	4
2.1. A glutén és annak sütőipari szerepe.....	4
2.2. A gluténfogyasztásra adott kóros reakciók.....	6
2.2.1. A coeliakia és annak mechanizmusa	6
2.2.2. A coeliakia epidemiológiája	9
2.2.3. Nem-coeliakiás glutén érzékenység.....	10
2.2.4. Búzaallergia és pékasztna	10
2.2.5. A GRD kezelése.....	11
2.3. Gluténmentes termékek és fejlesztési irányok napjainkban	12
2.3.1. Keményítők.....	14
2.3.2. Fehérjék és enzimek.....	16
2.3.3. Hidrokolloidok.....	17
2.3.4. Pszeudocereáliák.....	22
2.4. Lisztminősítési módszerek.....	24
2.4.1. Farinográfós mérés elmélete és gyakorlata.....	25
2.5. A kenyérbélzet kialakulása és tulajdonságai.....	27
2.5.1. A kenyérbélzet reológiája	27
2.5.2. A kenyérbélzet reológiai tulajdonságainak vizsgálata.....	31
2.6. Sütőipari termékek érzékszervi minősítése.....	33
3. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	37
3.1. A hazai fogyasztói igények és a jelenleg fennálló problémák felmérése	37
3.1.1. A primer kutatásban használt kérdőív tartalmának meghatározása.....	37
3.1.2. A mintanagyság meghatározása.....	38
3.1.3. A primer kutatás végrehajtása.....	39
3.2. Farinográfós vizsgálatok.....	39
3.2.1. Kereskedelmi forgalomban kapható lisztkeverékek vizsgálata	40
3.3. Próbasütés	41
3.4. A termékfejlesztéshez felhasznált anyagok	43
3.5. Szemcseméret és eloszlásának meghatározása	44

3.6. Optimalizálás.....	45
3.7. Próbasütés az optimalizált lisztkeverékekből.....	46
3.8. Reológiai mérés TPA módszerrel.....	47
3.9. Porozitás meghatározása	48
3.10. Hiperspektrális mérés	48
3.10.1. Hiperspektrális mérés felépítése.....	49
3.10.2. Nyers adatok előkezelése	51
3.10.3. Nedvesség index számítás	53
3.10.4. Többváltozós statisztikai elemzések.....	53
3.11. Kenyerminták nedvességtartalmának meghatározása	55
3.12. Érzékszervi minősítés.....	55
3.12.1. Minősítési módszer kiválasztása	55
4. EREDMÉNYEK.....	58
4.1. Fogasztói igényfelmérés.....	58
4.1.1. Szekunder piackutatás eredményei.....	58
4.1.2. Primer piackutatás eredményei.....	65
4.2. Kereskedelmi forgalomban kapható gluténmentes lisztkeverékek vizsgálata	72
4.2.1. A vizsgált gluténmentes lisztkeverékek reológiai tulajdonságai.....	72
4.2.2 Sütési próba	76
4.3. Új lisztkeverék optimalizálása.....	77
4.3.1. A felhasznált anyagok szemcseméret-eloszlásának vizsgálata	77
4.3.2. Farinográfós mérések és optimalizálás.....	78
4.3.3. Tésztakialakulási idő vizsgálata	79
4.3.4. Tészta stabilitásának vizsgálata.....	81
4.3.5. Tészta ellágyulásának vizsgálata.....	83
4.3.6. A tészta vízfelvételének vizsgálata.....	84
4.3.7. Végző lisztkeverék tulajdonságai	86
4.4. Gluténmentes kenyerek reológiai jellemzése	89
4.4.1. TPA eredmények.....	89
4.4.2. Porozitás vizsgálat.....	92
4.5. Hiperspektrális eredmények	93
4.5.1 A kenyerek tárolása során bekövetkező változások nyomon követése főkomponens elemzéssel.....	94

4.5.2 A kenyerek tárolása során bekövetkező változások nyomon követése lineáris diszkriminancia elemzéssel.....	95
4.5.3 Kenyerek nedvesség indexének alakulása a tárolás egyes napjain.....	103
4.5.4 Kenyerek nedvességtartalmának alakulása a tárolás egyes napjain	104
4.5.5 PLSR modellek.....	104
4.6. Érzékszervi minősítés eredményei.....	106
4.7. Gluténmentes élelmiszerek árának csökkentési lehetőségének vizsgálata	110
5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	113
6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....	115
7. ÖSSZEFOGLALÁS.....	117
SUMMARY	118
8. MELLÉKLETEK	119
M1: Irodalomjegyzék.....	119
M2: Keményítőszerkezetek SEM képei I	141
M3: Keményítőszerkezetek SEM képei II.....	142
M4: Gluténmentes kenyérminták 3D röntgensugaras μ CT képei különböző hidrokolloidokkal és azok keverékeivel	143
M5. Keményítőszemcsék változásai hő hatására.....	144
M6: Primer kutatás során használt kérdőív.....	145
M7. Validációhoz használt receptek összetétele.....	147
M8. ANOVA analízis eredményei a TPA mérés eredményeire	148
M9. LDA eredmények a 4 napos tárolási kísérlet során a vizsgált kenyérmintákra	149
M10. Érzékszervi minősítés ANOVA eredménye kenyértípusonként és bírálói csoportonként.....	150
M11. A gluténmentes minták érzékszervi minősítésre kapott átlag pontszámai bírálói csoportonként.....	152
M12. Érzékszervi minősítés LDA elemzés eredménye	153
M13. Ábrák és táblázatok jegyzéke	154
9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	160

Jelölések, rövidítések jegyzéke

Rövidítés	Angol megfelelő	Magyar megfelelő
ÁFA		Általános Forgalmi Adó
ANOVA	Analysis of variance	Varianciaanalízis
CD	Coeliac Disease	Coeliakia, lisztérzékenység
CMC	Carboxymethyl cellulose	Karboximetil-cellulóz
CV	Cross-Validation	Keresztvalidáció
DoE	Design of Experiment	Kísérletterv
DoS	Degree of Softening	Tészta ellágyulásának mértéke
DT	Development time	Tésztakialakulási idő
FU	Farinograph unit	Farinográf egység
GRD	Gluten related disorder	Gluténfogyasztással kapcsolatos rendellenesség
HPMC	Hydroxypropyl methylcellulose	Hidroxipropil-metil-cellulóz
HMW	High molecular weight	Nagy molekulatömegű
HSI	Hyperspectral imaging	Hiperspektárlis képalkotás
LDA	Linear Discriminant analysis	Lineáris diszkriminancia analízis
LMW	Low molecular weight	Kis molekulatömegű
NCGS	Non-celiac gluten sensitivity	Nem coeliakiás glutén szenzitivitás
NIR	Near-infrared	Közeli-infravörös fény tartománya
PCA	Principal component analysis	Főkomponens analízis
PLS	Partial least squares	Parciális legkisebb négyzetek módszere
PLSR	Partial least square regression	Regresszió a parciális legkisebb négyzetek módszerével
PPM	part per million	mg/kg
RMSE	Root Mean Square Error	Átlagos négyzetes hiba
SEM	Scanning electron microscope	Pásztázó elektronmikroszkóp
SGOL	Savitzky-Golay smoothing	Savitzky-Golay simítás
ST	Stability time	Tészta stabilitás ideje
TAC		Táplálékallergia Centrum
TPA	Texture Profile Analysis	Két harapás teszt
WA	Water absorption	Vízfelvétel

1. BEVEZETÉS

A sütőipari termékek évezredek óta fontos szerepet töltenek be a mindennapi étkezések során. A fejlődő országok lakosságának fontos fehérjeforrás, készítésük és fogyasztásuk pedig hagyománnyá és nemzeti értékévé vált. Az alapanyagul szolgáló cereáliák közül Európában és Magyarországon is tradicionálisan a legnagyobb mértékben búzalisztet (*Triticum aestivum*) használnak. A lakosság egyre növekvő részének azonban egészségügyi problémát jelent a búza-, árpa- és rozslisztből készült termékek fogyasztása.

Ezeknek az embereknek gluténmentes lisztből készült sütőipari termékeket kell fogyasztaniuk, ám azok mind a lisztek, mind a végtermékek esetén több, a minőséget döntően meghatározó szempontból különböznek a búzalisztől, illetve az abból készült termékektől. Annak ellenére, hogy a gluténmentes alapanyagok és termékek köre folyamatosan bővül, a gluténmentes kenyerek íze, színe, állaga, szerkezete, eltarthatósága, a bélzet retrogradációs sebessége, valamint a kenyértészta reológiai tulajdonságai még mindig eltérnek a búzaliszt alapú hagyományos termékektől. Megfelelő szabványok híján nincs egységesített módszer a végtermékek érzékszervi minősítésére vonatkozóan sem, így a jelenlegi szakirodalomban fellelhető publikációk gyakorlati használhatósága minden esetben kontrollt és tesztelést igényel.

Doktori disszertációm a Táplálékallergia Centrum megbízásából készítettem, így lehetőségem adódott az általam elért új tudományos eredményeket a gyakorlatba átültetni, és ezáltal gyártói valamint fogyasztói visszajelzésekre szert tenni.

A doktori dolgozatom célja összetett, egyszerre több különböző, ám ugyanannyira fontos területet ölel fel. A gluténmentes sütőipari termékekkel és vizsgálatokkal kapcsolatos hazai és nemzetközi publikációk száma, valamint ezzel egy időben a jó minőségű gluténmentes alapanyagok és késztermékek iránti fogyasztói igény folyamatosan növekszik, azonban sajnálatos módon olyan alapinformációk hiányoznak, mint a piaci igények pontos felmérése, a jelenleg kereskedelmi forgalomban elérhető gluténmentes lisztek és kenyerek sütőipari és érzékszervi vizsgálata, valamint a gyártókat segítő termékfejlesztési módszerek kidolgozása.

Ezek alapján disszertációmban a következő célokat tűztem ki:

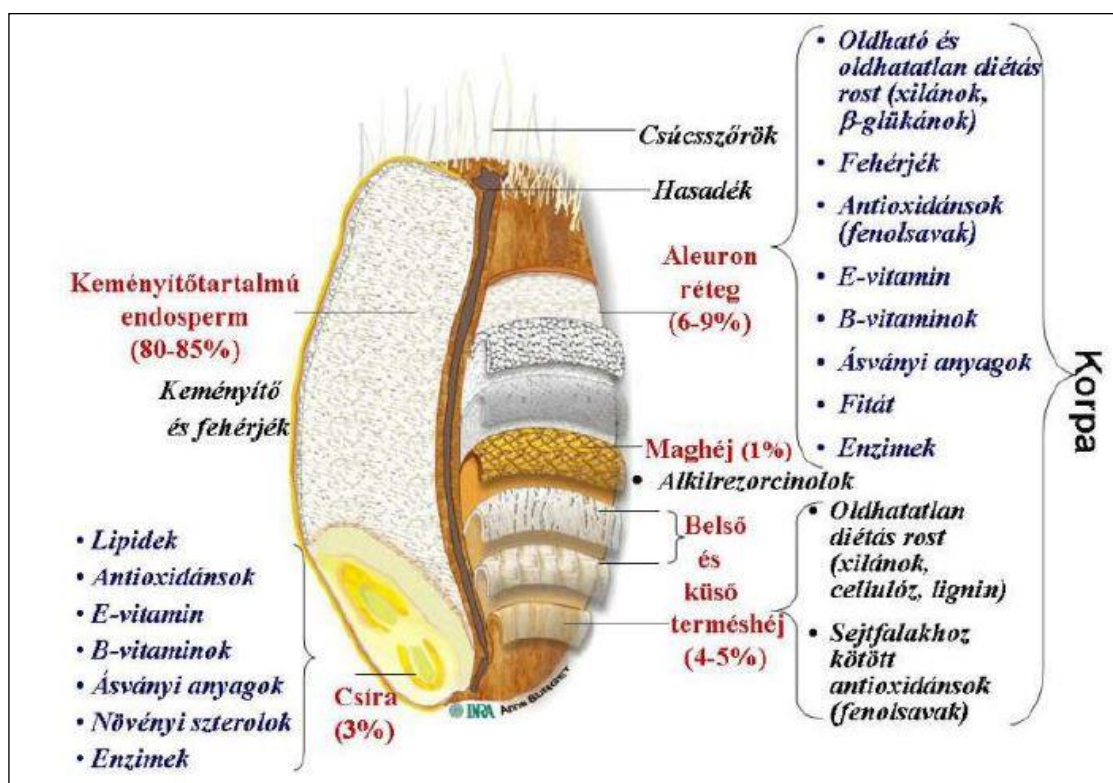
1. Gluténmentes kenyeret fogyasztók között piackutatást végezni, melyből pontosan kiderülnek a hazai fogyasztói igények, prioritások, jelenleg is fennálló problémák
2. A jelenleg kapható gluténmentes lisztek farinográfus vizsgálatával képet kapni arról, hogy hol tartanak ma ezek a termékek a búzaliszthez és a rizsliszthez képest

3. Hidrokolloidok (xantán és hidroxipropil-metil-cellulóz) adagolásának tésztaképződésre gyakorolt hatását vizsgálni (a farinográf görbe melyik részén és mekkora mértékben fejtik ki hatásukat)
4. Szakirodalmi adatok és saját mérések alapján optimalizálási módszerrel új gluténmentes lisztkeveréket létrehozni, mely tészta képzési tulajdonságaiban minél jobban hasonlít a búzalisztéhez
5. Az új lisztkeverékből készült termékeket hiperspektrális (HSI) és reológiai (TPA) módszerrel vizsgálni, valamint fogyasztói tesztelésüket végrehajtani
6. Jelenlegi érzékszervi minősítési módszert gluténmentes kenyerekre alkalmazni és további javaslatokat kidolgozni

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A glutén és annak sütőipari szerepe

A gabonaszem legnagyobb mennyiségben keményítőt, fehérjét, és kisebb mértékben lipideket, vitaminokat, mikro- és makrotápanyagokat tartalmaz (1. ábra).



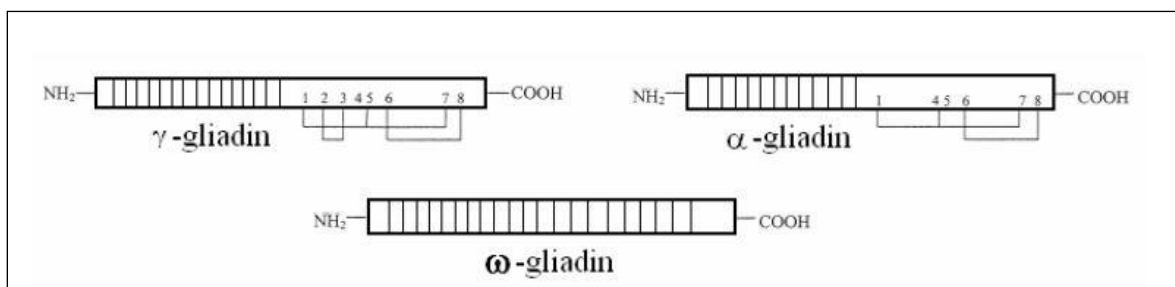
1. ábra: A búzaszem felépítése (TAMÁS, 2010)

Biokémiai szempontból a fehérjék között két nagy csoport különböztethető meg: a funkcionális – és a tartalékfehérjék. Az első csoportba tartoznak az enzimek és a biológiai membránokat alkotó fehérjék, míg utóbbi csoportba tartoznak az aleuronréteg, endosperm valamint a csírarész fehérjéi (TAMÁS, 2010).

Technológiai szempontból az endosperm rész fehérjéi a legjelentősebbek. A klasszikus Osborne-féle fehérjeoldhatóság szerinti frakcionálás alapján vízoldható albuminok, sóoldható globulinok, alkohololdható gliadinok, illetve sav- és lúgoldékony gluteninek különíthetők el (ABONYI, 2010).

Sütőipari szempontból a legfontosabb frakciók a nem vízoldékony gliadin és glutenin fehérjék. A gliadin fehérjék monomerek (30-80 kDa nagyságúak), és genetikai valamint N-terminális vég aminosav-szekvencia vizsgálat alapján három fő csoportra osztható: α/β -, γ -, és ω -

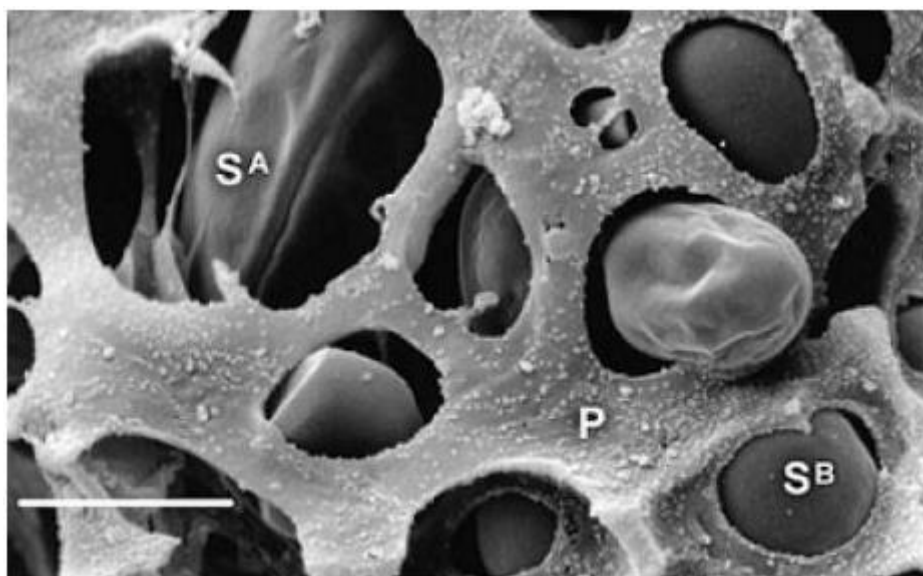
gliadinra. Nagyjából 300 aminosavból álló szerkezetük három részre tagolható: rövid N-terminális doménre, egy középső repetitív doménre és egy C-terminális doménre. Az α/β -gliadinok hat cisztein aminosavat tartalmaznak, a γ -gliadinok nyolcat, míg az ω -gliadinok egyet sem (2. ábra). A cisztein aminosavak segítségével jönnek létre az intermolekuláris diszulfid hidak, melyek a sikeérfehérjék szerkezeti stabilitásában alapvető fontosságúak.



2. ábra: A gliadinok ismétlődő szekvencia szakaszai (téglalapokkal jelölve), illetve a cisztein aminosavak elhelyezkedése (ABONYI, 2010)

A glutenin fehérje diszulfid hidakkal összekapcsolódó fehérje polimer, mely tömege a 20 millió Da-t is elérheti, így a természetben előforduló legnagyobb fehérje polimerek közé tartozik. A S-S kötések redukciója után a glutenin alegységek két alcsoportra oszthatóak: a nagy molekulásúlyú gluteninekre (HMW: 75-120 kDa nagyságúak) és kis molekulásúlyú gluteninekre (LMW: 25-45 kDa nagyságúak) (BARAK et al., 2015). A nagy molekulásúlyú gluteninek lineáris szerkezetűek, a prolamin frakció kb. 10%-át adják, aminosav összetételükre pedig jellemző, hogy gazdagok prolinban és glutaminban, de alacsony a lizin tartalmuk (TAMÁS, 2010). A kis molekulásúlyú gluteninek a teljes glutenin frakció körülbelül 60%-át adják. Alegységeik kb. 250-300 aminosavat tartalmaznak, valamint szintén magas prolin és glutamin aránnyal rendelkeznek. Ugyan több ciszteint is tartalmaz, de szerkezeti okok miatt ezek közül nem mindegyik alkalmas a diszulfid hidak kialakításában való részvételre (ABONYI, 2010).

Amikor vizet adnak a liszthez, akkor a vízzeloldható fehérjék, vitaminok és egyéb anyagok feloldódnak, a keményítőt pedig hidratáló víz veszi körbe. A két, nem vízzeloldható fehérjefrakció a víz segítségével oxidatív körülmények között diszulfid hidakkal össze fog kapcsolódni. Az így keletkező fehérje komplexet nevezzük gluténnek, vagy sikeérnek (WAGA, 2004). A kiindulási polipeptidek között kialakuló kölcsönhatások döntően meghatározzák a sikeérkomplex szerkezetét. A gliadinok víz hozzáadására viszkózus oldatot, míg a gluteninek hidratációt követően erős, de rugalmas anyagot képeznek (3. ábra). Ezek alapján elfogadott tény, hogy a kialakuló sikeértartalmú tézsza erőssége a glutenin, rugalmassága és nyújthatósága a gliadin frakciónak köszönhető (ABONYI, 2010; MILLS et al., 2005).



3. ábra: Sikérszerkezet pásztázó elektronmikroszkóp (SEM) felvétele. Jelölések: P- sikérfehérje szerkezet, S^A és S^B- különböző méretű keményítőszemcsék. Jelölt szakasz hossza: 5 µm (MILLS et al., 2005)

A glutén rendkívül fontos alkotó eleme a liszteknek: a sikér biztosítja azt a viszkoelasztikus vázat a tészták gyúrása során, melynek köszönhetően a tészta rugalmas, nyújtható, ugyanakkor kellően stabil marad (SHEWRY, 2009). A sikér minősége meghatározza a liszt minőségét is, hiszen ha a sikér mennyisége vagy minősége nem megfelelő, akkor a lisztből nem lehet megfelelő terméket gyártani. A gyengébb minőségű lisztek feljavításának céljából nagy sikértartalmú lisztjavító adalékanyagot, úgynevezett vitális glutént kevernek a lisztekhez (ANJUM et al., 2007).

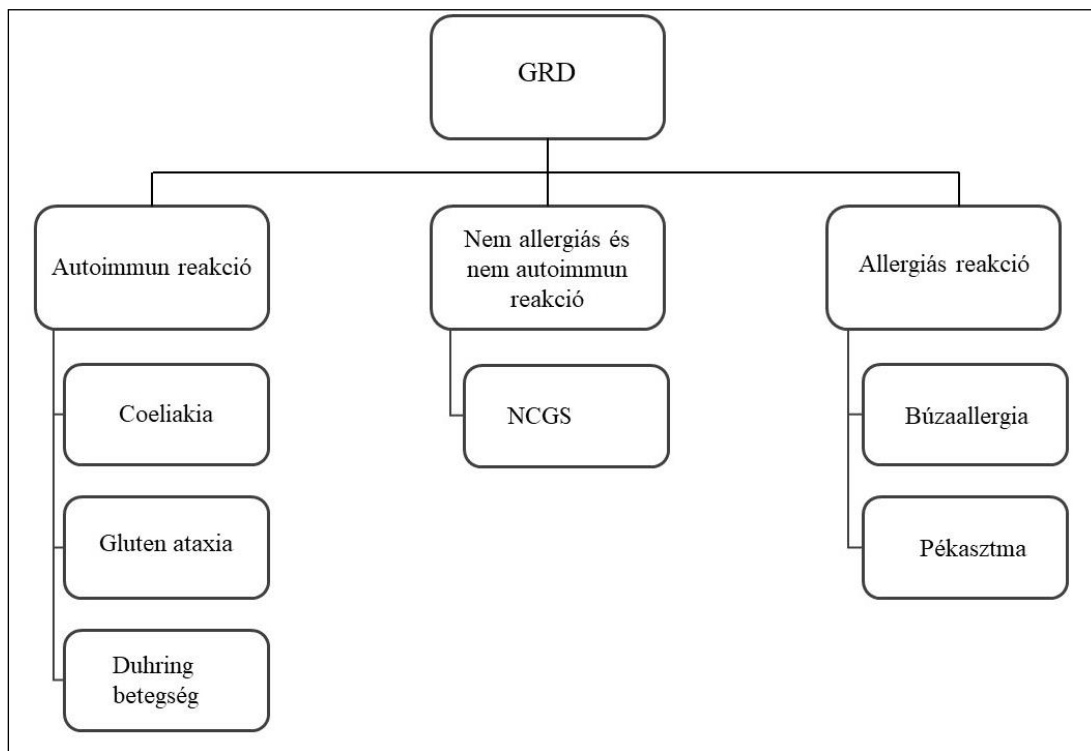
2.2. A gluténfogyasztásra adott kóros reakciók

A búzában, árpában és rozsban található fehérjék fogyasztása a lakosság bizonyos százalékánál különböző kóros reakciókat vált ki (Gluten Related Disorder, GRD). Ezen reakciók alapján megkülönböztethetők autoimmun, allergiás reakciók, valamint az egyik csoportba sem tartozó nem-coeliakiás glutén szenzitivitás (CABANILLAS, 2019) (4. ábra).

2.2.1. A coeliakia és annak mechanizmusa

A *coeliakia* elnevezés az ókori Görögországból ered a „koilia” mint has, hasüreg szóból, melyet a Kr.u. II. század közepén élt hellén tudós, Kappadókiai Areteaus nevéhez kötnek. Már ekkor megfigyelték, hogy bizonyos emberek különböző hasi panaszokkal reagálnak a kenyérre,

ezért gyümölcs és zöldség fogyasztása mellett pihenést javasoltak az érintetteknek (TEKINER, 2015).



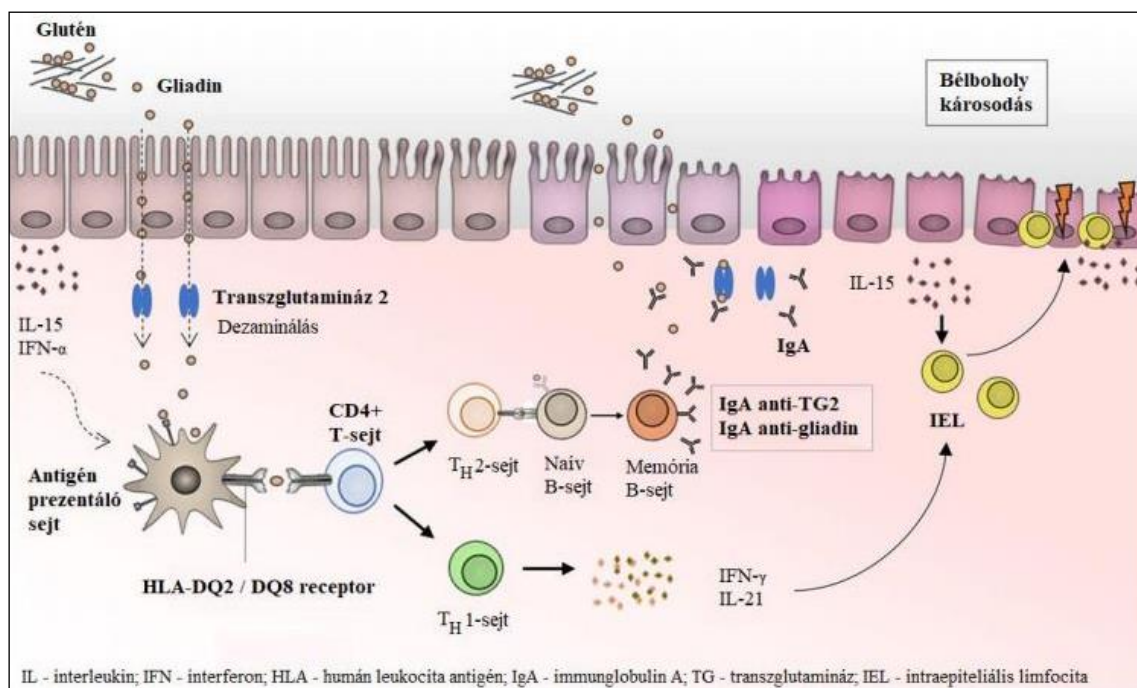
4. ábra: Gabonafehérje fogyasztáshoz köthető kóros reakciók (Forrás: saját szerkesztés). GRD: Gluten related disorders, gluténfogyasztással kapcsolatos rendellenesség

A következő lépcsőfokot a betegség megismerésében 1888. jelentette, amikor Londonban Samuel Gee meghatározta csecsemőknél és 1-5 éves gyermekeknél a kórképet. A diagnosztika és kezelés szempontjából döntő felfedezés Willem Dicke holland gyermekorvoshoz fűződik, aki 1950-es évek elején rájött, hogy a különböző gabonákban található siker fehérje frakció tehető felelőssé a tünetek kialakulásáért. Ennek megvonásával tünetmentességet ért el pusztán diétás kezeléssel (BANAI et al., 2003).

A coeliakia (glutén-szenzitív enteropátia, angolul: coeliac disease, CD vagy coeliac sprue) egy autoimmun betegség, melyet egy gabonafehérje, a glutén triggerel (CZIRJÁK, 2006; LERNER és MATTHIAS, 2015).

A megváltozott áteresztőképességű bélnyálkahártyán az arra genetikailag hajlamos (predesztinált) emberekben átjutó peptidek (azon belül is a prolin és glutamin) dezaminálódnak transzglutamináz enzim jelenlétében. A dezaminált peptidek epitóp szakaszát az antigén prezentáló sejtek a HLA-DQ2/DQ8 receptoraik segítségével felismerik és megkötik, amely egy T-sejthez kötött immunológiai gyulladásos folyamatot indít be. Az aktivált T-sejtek stimulálják a B-sejtek autoantitest kiválasztását és citokinek termelődését, melynek eredményeként a szervezet

olyan antitesteket termel, amik károsítják a szervezet kötőszöveti struktúráját, és ez végeredményben a vékonybél (*intestinum tenue*) atrófiájához, azaz sorvadásához vezet (GIERSIEPEN et al., 2012; NÉMEDI, 2009; CABANILLAS, 2019; DALE et al., 2018). A folyamatot az 5. ábra szemlélteti.



5. ábra: A Coeliakia mechanizmusa (CABANILLAS, 2019)

Végeredményben a vékonybélbolyhok strukturálisan átalakulnak, részlegesen vagy teljesen elsorvad a vékonybél nyálkahártyája, csökken a különböző tápanyagok felszívódása. Ez a vékonybél nyálkahártyájának sorvadásától függően különböző mértékű hiánybetegségek, vagy azok szövödményeinek megjelenéséhez vezetnek: anaemia (vérszegénység), fogzománc hiánya, gyakori vetélés, nőgyógyászati problémák, K-vitamin hiány, sorvadt izomzat, osteoporosis (csontritkulás), vékony, töredezett haj, hossz- és súlynövekedésben való elmaradás, fertőzésekkel szembeni ellenállás csökkenése, vagy a részben a puffadásból és részben az éhezés miatti ödémából eredő puffadó, előre domboruló has (SCHUPPAN és HAHN, 2002; JUHÁSZ, 2002; VRIEZINGA et al., 2015).

A társuló betegségek között van olyan, amit az orvosok egyértelmű kapcsolatba tudtak hozni a coeliakiával, de van, ahol csak gyanítják a kapcsolatot. Bizonyított kapcsolat van az I. típusú diabetes mellitus (I. típusú cukorbetegség) (ORTOLANI és PASTORELLO, 2006), dermatitis herpetiformis Duhring, Crohn-betegség, szelektív IgA hiány, Sjögren szindróma, hypo- és hyperthyreosis (pajzsmirigy alul- vagy túlműködése), autoimmun thyreoiditis (pajzsmirigygyulladás) betegségekkel. Valószínűsíthető kapcsolat van a Down-kór, autoimmun

hepatitisek, IgA nephropathia, primer sclerotizáló cholangitis, asthma bronchiale, sarcoidosis, sclerosis multiplex kórképekkel (JUHÁSZ et al., 2012; GODDARD és GILLET, 2006).

A coeliakia kialakulásának pontos okát még nem ismerik, de a manifesztációjában több faktor is szerepet játszhat: genetikai, immunológiai és környezeti faktorok. A genetikai faktorok között a HLA-DQ2 és/vagy a HLA-DQ8 sejtfelszíni szöveti antigént kell megemlíteni, melyet a lakosság 25-40%-a hordoz, de a coeliakiás emberek 98%-ban megtalálható. Az immunológiai faktorok között a T-sejt mediált folyamatokra utal a szakirodalom, hiszen a coeliakia esetén a glutén expozíciót követően T-sejthez kötött immunfolyamatok indulnak el (ARMSTRONG et al., 2009). A környezeti faktoroknál a mikrobiális infekció lehetőségét sem zárhatjuk ki. NADAL és munkatársai (2007) kutatásában kapcsolatot találtak Gram-baktériumok – úgy, mint az *Escherichia coli*, *Bacteroides* család – duodenumban (vékonybél felső szakasza) való jelenléte és a coeliakia között. Fontos megemlíteni azt a kutatást is, miszerint a coeliakia patomechanizmusában mikrobák egyes anyagcseretermékei is szerepet játszhatnak (WANG et al., 2009).

2.2.2. A coeliakia epidemiológiája

A coeliakiát sokáig gyermekbetegségnek hitték, azonban ezt a tévhitet az orvostudomány egyértelműen cáfolta (JUHÁSZ et al., 2012). Kortól, nemtől, foglalkozástól függetlenül bárkit érinthet a betegség, akikben megvan a genetikai hajlam, vagy az előző fejezetben említett környezeti faktor hatása alatt áll. A frissen diagnosztizáltak 50%-a 50 év körüli vagy feletti (GODDARD és GILLET, 2006).

Általánosan elfogadott számadat, hogy a coeliakia prevalenciája 1-3% körüli értékre tehető Európában és Észak-Amerikában (LEEDS et al., 2008, DALE et al., 2018). A betegség azokra a területre jellemző ilyen arányban, ahol nagy mennyiségben fogyasztják a sikért tartalmazó alapvető alapanyagokat, vagyis a búzát (*Triticum féléket*), árpát és a rozst. Ázsiában, Afrikában és bizonyos dél-amerikai térségekben 0.5-1.5% közöttire becsülik a coeliakia gyakoriságát gyermekek és felnőttek körében egyaránt (ROSTAMI-NEJAD et al., 2019). A különbség abból adódhat, hogy az utóbb említett területeken élők alternatív növényeket, pszeudocereáliákat használnak. Ilyen többek között a quinoa, köles, banánliszt, hajdina, teff, cirok.

A glutén csecsemőkorban történő bevezetésével kapcsolatban a jelenleg hatályos szakmai irányelv szerint: „minden fajta étel adását el lehet kezdeni öt hónapos korban (beleértve a potenciálisan allergén ételeket is, abban az esetben is, ha a családi anamnézis pozitív étel allergia vagy coeliakia irányában), de 12 hónapos korig csak kisebb mennyiségben, különösen a bevezetés első heteiben ügyelve arra, hogy ne legyen nagyobb mértékű a bevitel” (Az Emberi Erőforrások

Minisztériuma szakmai irányelve az egészséges csecsemő (0–12 hónapos) táplálásáról, Ajánlás 42).

2.2.3. Nem-coeliakiás glutén érzékenység

A nem-coeliakiás glutén érzékenységről (NCGS) az utóbbi évtizedben egyre gyakrabban lehet olvasni a témakörrel foglalkozó nemzetközi publikációkban. A korábban elfogadott nézet szerint megkülönböztették a gabonaallergiát, ami IgE-mediált „valódi” élelmiszerallergia, és a nem IgE-mediált autoimmun kórképként ismert coeliakiát. A nem-coeliakiás glutén érzékenység kialakulásának okait és patomechanizmusát egyelőre nem sikerült pontosan kideríteni. Ebben a betegségben jellemzően bélműködési zavarral (puffadás, hasfájás glutén tartalmú ételek fogyasztása után) és extraintesztinális tünetekkel (fejfájás, hangulatváltozás, izomgörcsök, krónikus fáradtság, fogyás) küzdő felnőttek fordulnak orvoshoz (CATASSI et al., 2013). A coeliakiára végzett tesztek azonban negatív eredményt mutatnak, mivel a bélrendszer nem károsodik, így a szövettani vizsgálatok is negatív eredményt adnak. Ennek ellenére a glutén fogyasztás elhagyása az érintetteknél állapotuk javulását eredményezi (MOLINA-INFANTE et al., 2015; CZAJA-BULSA, 2015). A jelenlegi kutatások szerint a nem-coeliakiás glutén érzékenység epidemiológiáját nehéz megállapítani, de becslések szerint a lakosság 0.6 - 13%-át is érintheti. Főleg a 40 év körüli életkorban jelentkezik, nők körében és városban élők között gyakoribb (CARROCCIO et al., 2017; CABRERA-CHAVEZ et al., 2017; DIGIACOMO et al., 2013; VAN GILS et al., 2016).

A legújabb kutatások valószínűsítik, hogy a búzában, árpában és rozsban lévő fehérjéken kívül a FODMAP (fermentábilis oligo-, di-, monoszacharidok és poliol) szénhidrátok is felelősek lehetnek (BROWN et al., 2020; DALE et al., 2018).

2.2.4. Búzaallergia és pékasztma

Búzaallergia esetén klasszikus IgE mediált allergiáról beszélünk (IgE antitest képződéssel jár), melyet nem csak a sikeérfehérjék, hanem metabolikus és védelmi funkciókat ellátó albumin és globulin fehérjék is szerepet játszanak. Fontos, hogy nem csak a búza, hanem a rozs és árpa fehérjéi is kiváltják a reakciót, melyek manifesztálódhatnak emésztőrendszeri (puffadás, hasmenés), légúti tünetek, bőr problémák (csalánkiütés, ekcéma) vagy ajak-nyelv-torokduzzanat formájában. Leggyakrabban gyermekkorban jelentkezik, ahol a 0.5 - 8% közötti az előfordulási gyakorisága.

Pékasztma esetén „foglalkozási asztmáról” szokás beszélni, amely a búza pollen belélegzésének hatására alakul ki. Étrendi változtatásra, diétára nincs szükség, de minden búzafajta belélegzését kerülni kell (CABANILLAS et al., 2019; ROSZKOWSKA et al., 2019).

2.2.5. A GRD kezelése

A GRD kezelése gyógyszerrel nem igénylő, élethosszig tartó diéta. A diéta lényege, hogy elkerüljük a kóros folyamatot kiváltó glutén szervezetbe jutását. A glutén fogyasztásának elhagyásával a szervezet regenerálódik, és az érintett beteg tünetmentessé válik, a malabszorpcióból (felszívódási zavarok) eredő egyéb betegségei megszűnnek.

Európában napi étrendünk átlagosan 15-20g glutént tartalmaz, mely főleg a kenyérből, különböző pékárukból és száraztésztákból adódik össze. A GRD-vel érintett emberek esetében azonban nem lehet meghatározni egy mindenki számára egységesen alkalmazható dózist, mely még nem okoz tüneteket (MATTHEW et al., 2009). Ezért a diéta során törekedni kell az eredendően gluténmentes élelmiszerek alkalmazására. Gabonafélék és pszeudocereáliák közül fogyasztható például a kukorica, rizs, köles, hajdina, quinoa, amarant, teff, sárgaborsóliszt, gesztenyeliszt, mandulaliszt. Az étrend tartalmazhat még továbbá burgonyát, édesburgonyát, tápiókát, szentjánoskenyérlistet, szóját, minden zöldség- és gyümölcsfélét, halat, húsfélét, tojást, tejet illetve tejtermékeket (sajt, joghurt, kefir, vaj), zsiradékokat (növényi és állati eredetű is beleértve), natúr fűszereket valamint olajosmagvakat (dió, mogyoró, mandula, pisztácia, mák, szezám, gesztenye, tökmag). A diéta során szigorúan tilos fogyasztani búzából (bármely Triticum fajtából), árpából, tritikáléból vagy rozsból készült termékeket, bármilyen formában is legyenek az adott ételalkotói. Ez alól kivételnek számítanak a coeliakiások számára azok az esetek, amikor a címkén egyértelműen feltüntetik, hogy az összetevő gluténmentes (például a gluténmentes búzakeményítő esetén).

A diétás kezelés egyik, a világ különböző pontjain eltérően kezelt eleme a zab gluténmentes diétában alkalmazhatóságának kérdése. Az Európában és az Amerikai Egyesült Államokban használt ajánlás szerint a gluténmentes felirattal/jelzővel jelölt zab illetve zabtermékek beilleszthetők a diétába. A gluténmentes jelző fontos, mert számos esetben a zab feldolgozása során keresztszennyeződhet más, a diétában nem fogyasztható gabonafélékkel (COELIAC UK, 2021). Ezzel szemben Ausztráliában a helyi szabályozás alapján tilos a zab tartalmú élelmiszerek gluténmentes jelölése (COELIAC AUSTRALIA, 2021). Az eltérő megközelítés háttérében az áll, hogy a zabban található fehérje (avenin) fogyasztása egyes emberekben hasonló tüneteket produkálhat mint a gliadin, szekalin vagy hordein fehérjék esetén.

A diétás kezelésekkel párhuzamosan több szálon is futnak orvosi kutatások a coeliakia kezelését illetően. Az egyik ilyen módszer egy enzim stratégia, ahol proteáz enzimekkel kezelik a glutént. Egy másik kutatás a *Vibrio cholerae* humán patogén, kolerát okozó fajtából kinyert AT-1001 nevű proteint alkalmazza, mely csökkenti a szervezet immunválaszát (TENNYSON et al., 2009; ARMSTRONG et al., 2009).

2.3. Gluténmentes termékek és fejlesztési irányok napjainkban

A lisztérzékenyeknek szánt élelmiszerek összetételéről és címkézéséről Európában az 828/2014 EC rendelet foglalkozik. A szabályozás alapján gluténmentesnek tekinthető a termék, ha a gluténtartalma 20 ppm alatti, és nagyon alacsony gluténtartalmúnak ha 100 ppm alatti. Sajnos a szabályozás nem tér ki a keresztszennyeződés jelölési részleteire és kötelezettségére, így nincs egyértelmű gyakorlat arra vonatkozóan, hogy a gyártóknak mikor kell feltüntetni az erre vonatkozó figyelmeztető mondatot („Nyomokban glutént tartalmazhat”).

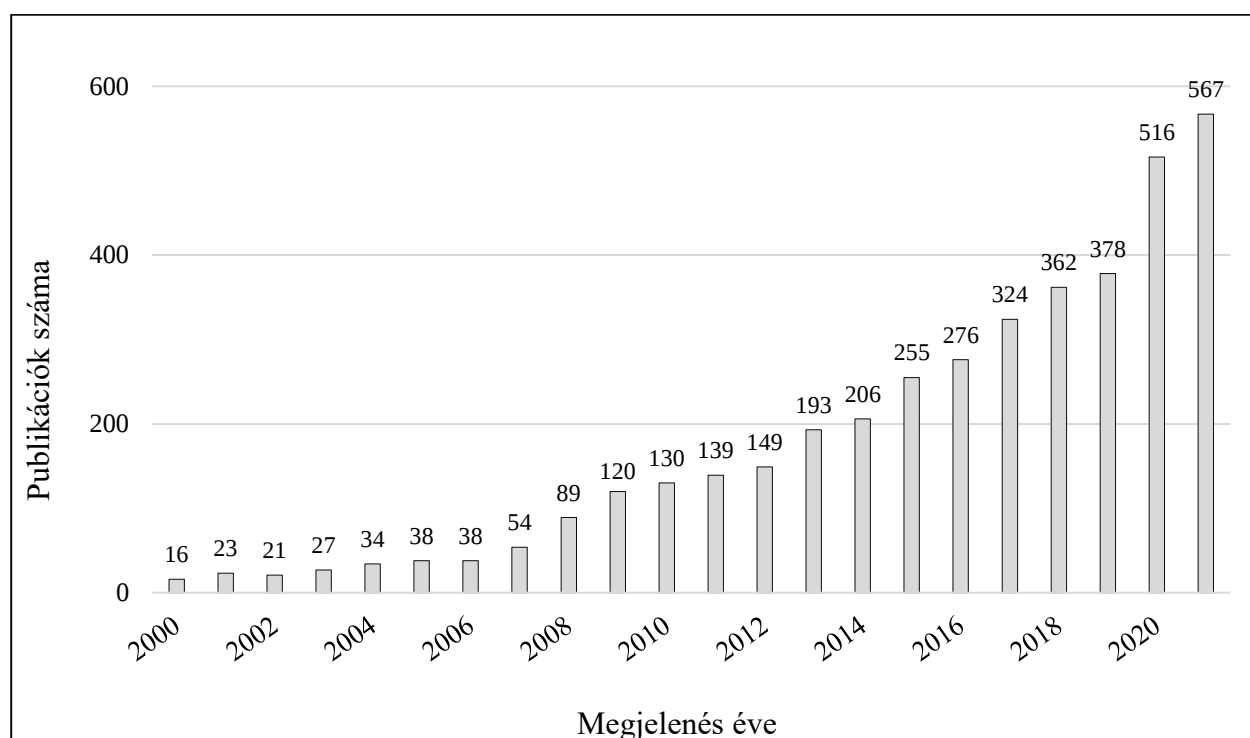
Fontos kiemelni, hogy Ausztráliában és Új-Zélandon a helyi jogszabály (STANDARD F2011C00537) szerint tilos zabot, vagy természetéből adódóan glutént tartalmazó növényből származó alapanyagot (így például gluténmentes búzakeményítőt) használni gluténmentes termékekben. Gluténmentesnek pedig olyan terméket tekintenek, melyben nincs mérhető gluténtartalom („no detectable gluten”), és alacsony gluténtartalmúnak a 20 ppm alatti termékek minősülnek.

Annak ellenére, hogy a gluténmentes sütőipari termékekkel kapcsolatos szakirodalmi cikkek száma rohamosan növekszik (6. ábra), a glutén hiánya, illetve a búzakeményítő helyettesítése miatt napjainkban még mindig számos területen minőségi problémákkal küzdenek a gluténmentes sütőipari termékek:

- gyengébb minőségű a kenyérbélzet textúrája, annak rugalmassága és kohéziója
- a bélzet száraz, morzsálékos, és gyorsabban kiszárad
- halvány a kenyérbélzet és a héj színe
- erős, kellemetlen és szokatlan mellékíz érezhető az alapanyagként használt kukoricától vagy pszeudocereáliáktól.

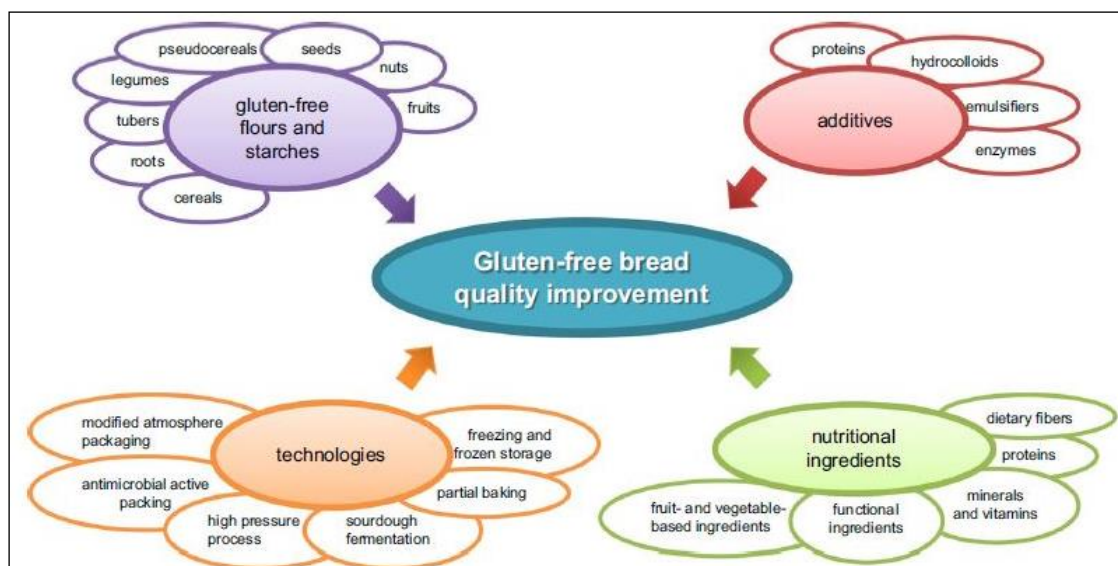
A kenyértészta viszkozitása és reológiai tulajdonságai nagymértékben eltérnek a búzalisztből készült tésztától, kisebb a végtermékek térfogata (ARENDT et al., 2008; CAPRILES és AREAS, 2014; PACYNSKI et al., 2015; CAPELLI et al., 2020), valamint a gluténmentes termékek ára lényegesen magasabb (MISSBACH et al., 2015). Utóbbinak több oka van: egyrészt

garantáltan gluténmentes alapanyagokat kell használni, melyeket csak olyan üzemben lehet előállítani és csomagolni, ahol nincs kontamináció glutén tartalmú gabonákkal. Ilyen üzemből egész Európában kevés található, így a beszállítók magasabb alapanyagárakat tudnak érvényesíteni. Másrészt a gyártási technológia és a munkaerő igény szintén közel azonos mértékű a nem gluténmentes termékek gyártásával, így végeredményben azonos körülmények mellett, de magasabb alapanyagköltséggel történik a gyártás, amit egy szűkebb fogyasztói rétegnek kell értékesíteni, hazai szinten ugyanakkora – és Európában jelenleg a legmagasabb – ÁFA (általános forgalmi adó) tartalom mellett.



6. ábra: Gluténmentes termékekkel és alapanyagokkal kapcsolatos tudományos cikkek száma 2000 és 2021 között (Forrás: saját szerkesztés Scopus adatok alapján, Agricultural and Biological Sciences, Biochemistry, Chemistry, Engineering és Chemical Engineering területekre szűkítve)

A gluténmentes sütőipari termékek fejlesztését nagymértékben befolyásolják és segíthetik a következő tényezők: a felhasznált keményítők, hidrokolloidok, pszeudocereáliák, fehérjekivonatok, enzimek, rostok és a fermentálás (kovászolás). A felsorolt anyagok és technológiák (7. ábra) komplex keverékével nagymértékű javulás tapasztalható a gluténmentes liszt és sütőipari végtermékek tulajdonságaiban (CAPRILES és AREAS, 2014; CAPELLI et al., 2020).



7. ábra: Gluténmentes kenyerek fejlesztési irányai (CAPRILES és AREAS, 2014)

2.3.1. Keményítők

A keményítőnek rendkívül fontos szerepe van a sütőiparban. Kihatással van a tészta reológiájára, a termék textúrájára, vízvisszatartására és a végtermék minőségére (ABDEL-AAL, 2009). A keményítő frakció adja a búzaliszt 75-80%-át. Ezzel ellentétben a gluténmentes lisztek gyakran csak keményítőket tartalmaznak, vagy a frakció részaránya magasabb, mint a búzalisztnél (WICZAK et al., 2015, ROMAN et al., 2019).

Gluténmentes termékek esetén a keményítő forrása leggyakrabban a rizs, mert hipoallergén, kedvező fehér színe van, semleges az íze és könnyebben emészthető a keményítőtartalma (ARENDT et al., 2008a; DUODU és TAYLOR, 2012). Ezen kívül gyakori keményítő forrás a kukorica, tápióka vagy burgonya (GALLAGHER et al., 2003; MOORE et al., 2004), illetve 2008 óta gluténmentes búzakeményítő (ARENDT és BELLO, 2008b). Utóbbi – az észak-európai országokat és az Egyesült Királyságot kivéve – még nem terjedt el igazán a gyakorlatban, sem a tudományos életben, melynek oka a többi keményítőhöz viszonyított magas ára, illetve hogy nem minden diétázó tudja panaszok nélkül fogyasztani. Használatának előnye abban rejlik, hogy a segítségével a búzalisztes termékekhez rendkívül hasonló ízt tudnak biztosítani a sütőipari termékeknek.

A keményítőknél a végterméket befolyásoló tényezők közé tartozik a keményítő forrása és annak földrajzi eredete, a keményítő szemcsék alakja és mérete, az amilóz-amilopektin arány (ONYANGO et al., 2011; BELITZ et al., 2007; WICZAK et al., 2015), valamint a csirizesedési hőmérséklet, mely a tészta reológiai tulajdonságait nagymértékben befolyásolja (ABDEL-AAL, 2009). Magasabb csirizesedési hőmérséklettel például kedvezőbb térfogat érhető el, ami javítja a

termék érzékszervi tulajdonságait (KUSUNOSE et al., 1999). A több foszfát csoportot tartalmazó keményítő csirízesedési hőmérséklete alacsonyabb, így kedvezőtlen hatást gyakorol a végtermék térfogatára (KUSUNOSE et al., 1999). A legnagyobb tézstasűrűséget a búzakeményítővel lehet elérni (RONDA és ROOS, 2008), aminek gyártástechnológiai szerepe és hatása van. A lágyabb tésztákhoz más berendezések vagy technikai beállítások szükségesek, melyeket nem minden hagyományos sütőipari berendezés képes biztosítani. A különböző eredetű keményítők SEM képeit a 2. és 3. számú mellékletek mutatják be.

A glutén hiánya miatt még nagyobb hangsúlyt kap a komplexben található keményítő, mert jelentősebb szerep jut a szerkezetre és a kenyérbélzetre gyakorolt hatásának. Sikérváz hiányában hígabb tésztaszerkezet valamint gyengébb szín- és bélzetállomány alakul ki (WICZAK et al., 2015).

Gluténmentes liszteknel gyakran módosított keményítőket is alkalmaznak. A Magyar Élelmiszerkönyv szerint módosított keményítőnek nevezik azokat az anyagokat, amelyeket étkezési keményítő egy vagy több kémiai kezelésével nyertek, fizikai vagy enzimes úton és savas vagy lúgos kezeléssel folyósítottak vagy fehéřítettek (MÉ 1-2-95/2.2). A módosított keményítők segítségével befolyásolhatóvá válik a vízmegkötés, a duzzadóképeség, a csirízesedési hőmérséklet és a tészta viszkozitása. Ennek eredményeképpen stabilabb lesz a tészta szerkezete, és csökken a retrogradáció mértéke, valamint a kenyér eltarthatósága is javul (BELITZ et al., 2007, FERREIRA et al., 2014, WICZAK et al., 2015).

ZIOBRO és munkatársai (2012) kukoricakeményítő alapú gluténmentes lisztkeverékhez 5, 10 és 15%-ban adagoltak nagy amilóz tartalmú módosított kukoricakeményítőt, acetilezett dikeményítő-adipátot (E1422) valamint hidroxipropil-dikeményítő-foszfátot (E1442). Méréseik bizonyították, hogy 10%-os adagolás mellett a módosított keményítők használata javított a kenyér térfogatán, a kenyérbélzet reológiai tulajdonságain két napos tárolás során is. Ezeken kívül csökkent a kenyérbélzetben a buborékok átlagos mérete, és növekedett a buborékok száma, így a hagyományos búzaliszt alapú kenyerekéhez hasonlóbb bélzet alakult ki.

Fontos azonban kiemelni, hogy a módosított keményítők nagymértékű különbözősége eltérő módon befolyásolja a tészta szerkezetét és reológiai tulajdonságait. A gluténmentes lisztkeverékek eltérő összetétellel és keményítőbázissal rendelkeznek, aminek az a gyakorlati következménye, hogy a tudományos szakirodalomban megtalálható méréseket és eredményeket meg kell vizsgálni az éppen adott és használt rendszerben (tehát, hogy az általunk használt vagy vizsgált gluténmentes lisztkeverékben is valósak az eredmények).

2.3.2. Fehérjék és enzimek

A glutén technológiai szempontból a legfontosabb fehérje a sütőiparban. A gluténmentes lisztek területén ennek pótlására még nem született olyan megoldás, mely lisztminősítési módszerekkel igazolva olyan végeredményt adna, mint a glutén tartalmú búzaliszt (BL-80). Több kutatás foglalkozott a tej-, tojás- és szójafehérje hatásaival. Tejfehérje 8-12%-os hozzáadásával javulás érhető el a bélzet szerkezetét tekintve, mert az puhább lett, több vizet tudott megkötni, a kenyérháj szerkezete is puhult. A kenyér térfogata valamint fehérjetartalma szignifikánsan nőtt (SANCHEZ et al., 2004; GALLAGHER et al., 2003; KRUPA-KOZAK et al., 2013). Tojásfehérje segítségével stabilabbá vált a tészta szerkezete, azonban 10%-os adagolásnál hidrokolloid (HPMC) mellett rontott a tészta szerkezetén, ezért ennél a fehérjadagolásnál különös figyelmet kell fordítani a keverékben lévő egyéb segédanyagokra is (CROCKETT és VODOVOTZ, 2011). Transzglutamináz enzim segítségével már kis dózisban (0.67g fehérje/ 100 g lisztkeverék) szignifikánsan csökkenteni tudta a háj keménységét (STORCK et al., 2013). Szójafehérje adagolásával sikerült csökkenteni a kenyérbélzet kiszáradási sebességét, valamint a bélzet rugalmasságát kukoricakeményítő alapú termékek esetében (ZIOBRO et al., 2013). Lényeges azonban, hogy a szójafehérje 10% feletti adagolása negatívan hat a kenyér színére (ZIOBRO et al., 2013; HORSTMANN et al., 2017a).

Fontos kiemelni, hogy ezen fehérjék mindegyike allergén. Mivel orvosilag igazolt a tej- és tojásallergia valamint a coeliakia összefüggése (TURNBULL et al., 2015), valamint saját felmérésem igazolja a szójaallergiások jelenlétét a coeliakiások között (4.1.2.1 fejezet), ezért ezek használata szűkítené a végterméket vásárlók körét, valamint a gyártás során növelné a komplexitást, hiszen újabb allergének kerülnének be az üzembe.

Alternatív megoldást adhat az allergénnek nem minősülő borsófehérje használata. Mérésekkel igazolt, hogy borsófehérje használatával javul a fehérjeszerkezet aminosav összetétele (TÖMÖSKÖZI et al., 2001), valamint a rizsliszthez adagolva javítja a tészta reológia tulajdonságait (MARCO és ROSELL, 2008; MARIOTTI et al., 2009). A kenyérbélzet szerkezete lazább és puhább, a háj szerkezete 10%-os adagolás mellett elasztikusabbá vált (ZIOBRO et al., 2016; PICO et al., 2019). A borsófehérje adagolásával a gluténmentes sütőipari végtermékek illata és színe is javulást mutat, ezen tulajdonságaiban a termékek közelítenek a búzalisztből készült termékekhez (SHEVKANI és SINGH, 2014; ZIOBRO et al., 2016). További előnye a borsófehérjének, hogy a szójafehérjével ellentétben nincs negatív hatással a termék ízére még nagy dózis esetén sem. Ezen előnyeit felismerve a gyakorlatban is egyre több gluténmentes sütőipari terméket előállító cég használja ezt a fehérjét.

Enzimek közül a transzglutamináz (TG, E.C.2.3.2.13), ciklodextrin-glikoziltranszferáz (CGT, E.C.2.4.1.19) és a glükóz-oxidáz (GO, E.C.1.1.3.4) segítségével kedvezően lehet módosítani a keményítő szerkezetét, valamint a gyengébb fehérje szerkezetet szignifikánsan javítani (GUJRAL és ROSELL, 2004a, MOORE et al., 2006, GUJRAL és ROSELL, 2004b, BASSO et al., 2015). Azonban kétséges az enzimek gyakorlati felhasználhatósága (homogén eloszlás biztosítása) üzemi környezetben, valamint kérdéses, hogy az enzimeket tartalmazó gluténmentes lisztokban a felhasználásig történő, gyakran hónapokig tartó tárolás során milyen hatást gyakorolnak a termékre.

2.3.3. Hidrokolloidok

A hidrokolloidok polimer anyagok, melyek főként poliszacharidokból vagy fehérjékből álló gélképzők, állományjavítók (CSAPÓ és CSAPÓNÉ, 2003). Forrását tekintve lehet állati (például: zselatin), növényi (cellulózok, pektin, keményítő), alga (agar, alginát) vagy mikroorganizmus (xantán) eredetű. Molekulaszerkezetükben nagyszámú hidroxil (OH) csoportot tartalmaznak, így képesek a vizet megkötni, ezáltal hatást gyakorolni az élelmiszerek viszkozitására és textúrájára (SAHA és BHATTACHARYA, 2010). Élelmiszeripari felhasználásuk rendkívül széleskörű, és a gluténmentes sütőiparban az egyik leggyakrabban használt adalékanyagok csoportja, mellyel a hiányzó sikkerváz funkcionális helyettesítését célozzák a szakemberek (ROMAN et al., 2019).

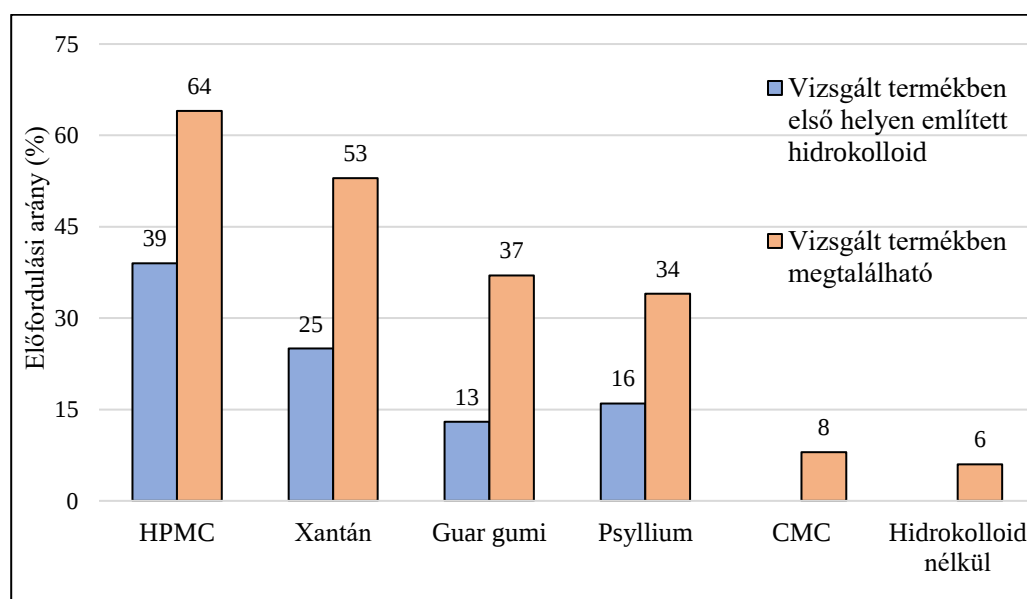
A megfelelő gluténmentes kenyértészta, valamint a fehérjeszerkezet kialakításához több víz szükséges, mint a glutént tartalmazó búzalisztes termékek esetén (HAGER és ARENDT, 2013). A többlet víztartalmat a rendszerhez adott psyllium, bambusz, burgonya, répa – vagy almarost, hidrokolloidok közül pedig a HPMC (hidroxipropil-metil-cellulóz), xantán vagy a CMC (karboximetil-cellulóz) tudja hosszú távon és egyenletesen megtartani (JUSZCZAK et al., 2012, CAPPA et al., 2013). Ezzel végeredményben javítható a kenyér térfogata, a bélzet reológiai tulajdonságai valamint a retrogradáció sebessége (kenyér bélzetének kiszáradása) is lassítható, mivel több vizet tud megkötni és megtartani a rendszer (MANCERO et al., 2014, ZANNINI et al., 2012).

228 európai gluténmentes kenyér összetételét vizsgálva a termékek csupán 6%-a nem tartalmazott hidrokolloidot, míg 12%-uk egy fajtát és 82%-uk egyidejűleg több hidrokolloidot tartalmazott (ROMAN et al., 2019). Gluténmentes kenyerek esetében a leggyakrabban használt hidrokolloidokat a 8. ábra mutatja be.

Ahogy a 8. ábrán is látható, az átfogó európai vizsgálat adatai alapján a leggyakrabban használt hidrokolloid a HPMC és a xantán. A HPMC a cellulóz hidroxipropil- és metil-étere,

élelmiszerekben mennyiségi korlátozás nélkül használható, vízben jól oldódó adalékanyag (E464). Sütőipari felhasználásának népszerűsége abban rejlik, hogy növeli a kenyér térfogatát (MAZAIZE et al., 2009), más hidrokolloidokkal kombinálva (xantán, szentjánoskenyérmag liszt, guarmag liszt) növeli a bélzet puhaságát és csökkenti annak morzsalékosságát (LIU et al., 2018).

A xantán a *Xanthomonas campestris* baktérium által képzett, 10^6 daltonnál nagyobb molekulatömegű poliszacharid. Szerkezetét tekintve a cellulózszerűen összekapcsolódó glükózmaradékok β -1-4-kötésekkel alkotják a főláncot, melyben minden második glükózrészhez oldalláncként acetilezett mannóz, glükuronsav és esetenként piroszölősav is csatlakozik.



8. ábra: 228 gluténmentes kenyér összetétel vizsgálata hidrokolloid tartalom alapján, illetve a hidrokolloid összetevő listán való elhelyezkedése alapján (ROMAN et al., 2019 alapján; CMC = karboxi-metil-cellulóz)

Vízben, savas és bázikus közegben is jól oldódik, nagy viszkozitású oldatot hozva létre, ami szélsőséges hőmérsékleti és pH viszonyok között is megőrzi állományát. Élelmiszeripari termékek címkéjén jelölhetik még E415-ként is (CSAPÓ és CSAPÓNÉ, 2003; SAHA és BHATTACHARYA, 2010). Szárított élelmiszerekben nem használható, és a lekvár/dzsem termékektől eltekintve általánosan mennyiségi korlátozás nélkül használható, a szerkezet számára hasznosíthatatlan adalékanyag. Sütőipari felhasználást tekintve növeli a kenyér térfogatát és csökkenti a kenyérbélzet keménységét rizsliszt és kukoricakeményítő alapú termék esetében (MAZAIZE et al., 2009). Rizsliszt, burgonyaliszt és kukoricakeményítő alapú kenyér esetében glükomannánnal kombinálva javította a tészta állagát, csökkentette a bélzet keménységét és növelte a kenyér térfogatát (SUTRISNO et al., 2021).

Szakirodalmi publikációk között fontos eredményt értek el AHLBORNE és munkatársai (2005), amikor rizsliszt alapú kenyérhez tejfehéréjt, tojást, HPMC-t és xantánt adtak. Méréseik alapján a búza sikeréhez hasonló szerkezet alakult ki, ami 120 órás tárolási kísérlet során a legmagasabb érzékszervi pontszámot kapta a bírálóktól frissesség és textúra szempontoknál. Egy másik kísérlet során HPMC-t és xantánt adagoltak rizsliszthez, teff liszthez, kukoricaliszthez és hajdinaliszthez (HAGER és ARENDT, 2013), majd így készítettek kenyereket. Eredményeik alapján a használt hidrokolloidoknak eredményei nagymértékben függtek attól, hogy mihez adták hozzá: a HPMC pozitív lineáris hatást mutatott térfogat növekedésben teff illetve kukoricaliszt esetén, negatív hatást rizsliszténél és semleges hatást hajdinaliszt esetén. A xantán minden esetben negatív hatást ért el az összes vizsgált kenyér tekintetében. A kenyérbélzet keménysége csökkent teff, hajdina, kukorica és rizsliszt kenyereknél HPMC hatására, míg xantán esetében ugyan ez csak a kukoricaliszt alapú kenyérnél volt tapasztalható. MARIOTTI és munkatársai (2012) kereskedelmi forgalomban kapható gluténmentes lisztkeverékeket dúsítottak különböző hajdinalisztekkel és 0.5% HPMC-vel. Ennek eredményeképpen a vizsgált minták közül így érték el a legpuhább kenyérbélezetet, amely a tárolási kísérlet során lassabban veszített a víztartalmából.

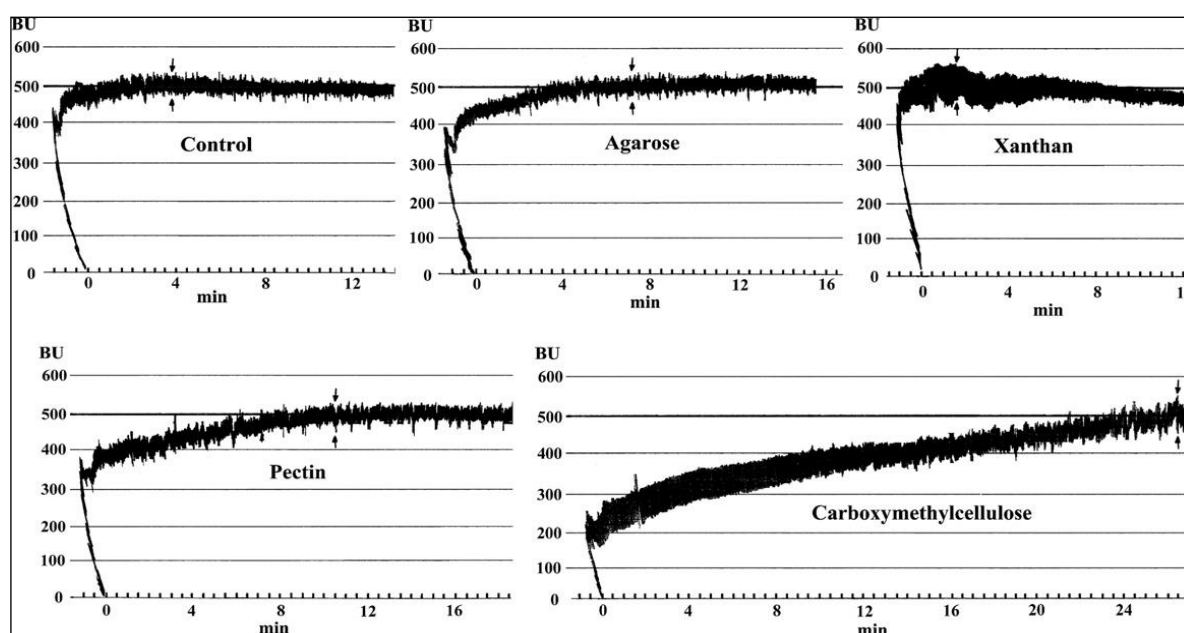
DEMIRKESEN és munkatársai (2014) röntgen-mikrotomográf módszerrel vizsgált hidrokolloidokat tartalmazó gluténmentes kenyereket (4. melléklet). HPMC, CMC és xantán-guarmag liszt alkalmazásával érték el a legmagasabb pórus számot és legkisebb átlagos pórus méretet. Méréseik alapján korrelációt mutattak ki a kenyérbélzet alacsonyabb szintű keménysége, magasabb kohéziója és rugalmassága valamint a bélzet magas pórus számával, illetve alacsony porozitásával és a pórusok alacsony átlagos méretével.

Jellegüknél fogva a hidrokolloidok jelentős mennyiségű vizet kötnek meg, ezért nagyban befolyásolják a tészta kialakulását, stabilitását és ellágyulását, valamint a lisztből készült kenyér tulajdonságait (textúra, porozitás, térfogat, eltarthatóság, érzékszervi paraméterek). Az elmúlt 20 évben gluténmentes alapanyagok, kenyerek, technológiák valamint azok reológiai tulajdonságainak témakörében megjelent publikációk közül LAZARIDOU és munkatársai (2007) munkája érte el a legtöbb független hivatkozást a Scopus adatbázisa szerint (a dolgozat leadásának időpontjában 658 hivatkozással). Cikkükben a hidrokolloidok kenyértészta reológiájára és kenyeret leíró minőségi paraméterekre gyakorolt hatását vizsgálták. A 9. ábrán látható farinográfós mérések rizsliszt alapú, élesztő nélküli gluténmentes rendszerben 2%-ban adagolt hidrokolloidok hatását mutatja (LAZARIDOU et al., 2007). Egyértelműen kivehető, hogy azonos gluténmentes lisztkeverékhez azonos mennyiségben adott különböző hidrokolloidok eltérő hatást fejtenek ki a tészta kialakulására, annak stabilitására valamint a tészta ellágyulási idejére. Ennek jelentős hatása

van az ipari termelés során, mert mindhárom paraméter ismerete fontos ahhoz, hogy a megfelelő üzemi technológiát és beállításokat lehessen alkalmazni.

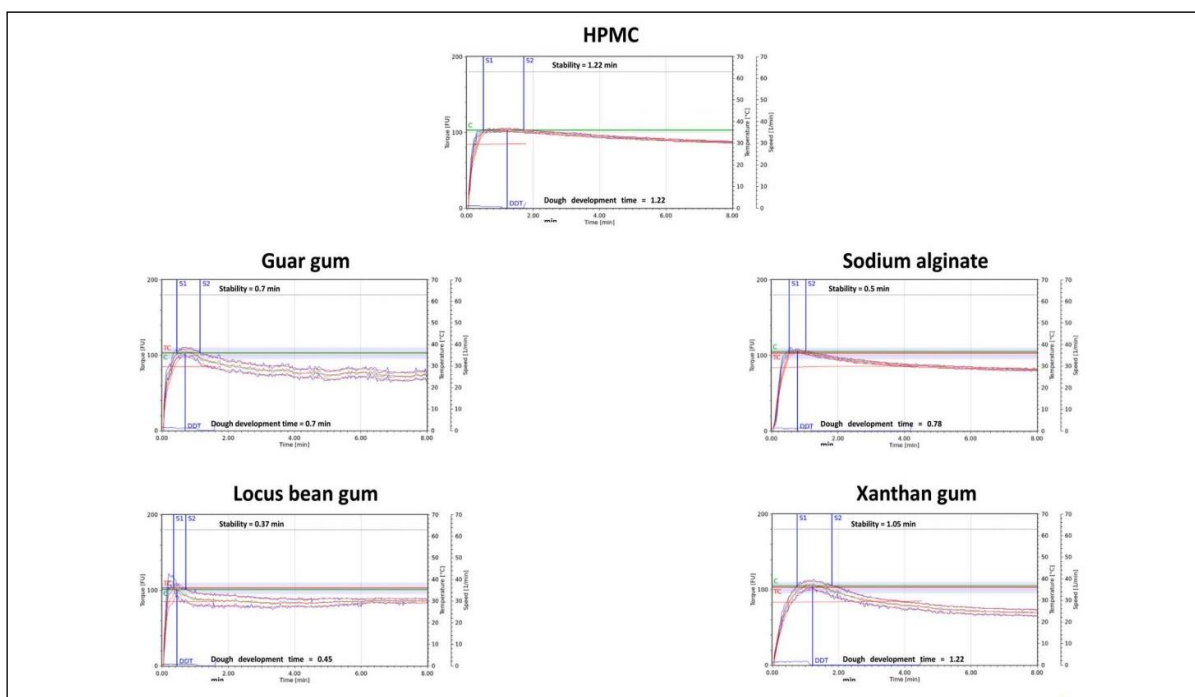
Az eredményeiből kiderül, hogy a vizsgált hidrokolloidok közül egyedül a xantán használatával sikerült a búzalisztéhez hasonló farinográf görbét felvenni, valamint a kenyértészta reológiai mérései során a leginkább elasztikus és deformációnak ellenálló tésztát létrehozni.

A keverékekből készült kenyerek esetében a legkedvezőbb hatást a 2%-ban adagolt pektin és az 1%-ban hozzáadott CMC mutatta. Ezekkel a hidrokolloidokkal szignifikánsan nőtt a kenyerek térfogata, a kenyérbélzet porozitása és elasztikussága, pozitív hatást gyakoroltak az érzékszervi tulajdonságokra valamint 3 napos tárolás során a kenyérbélzet szilárdságára.



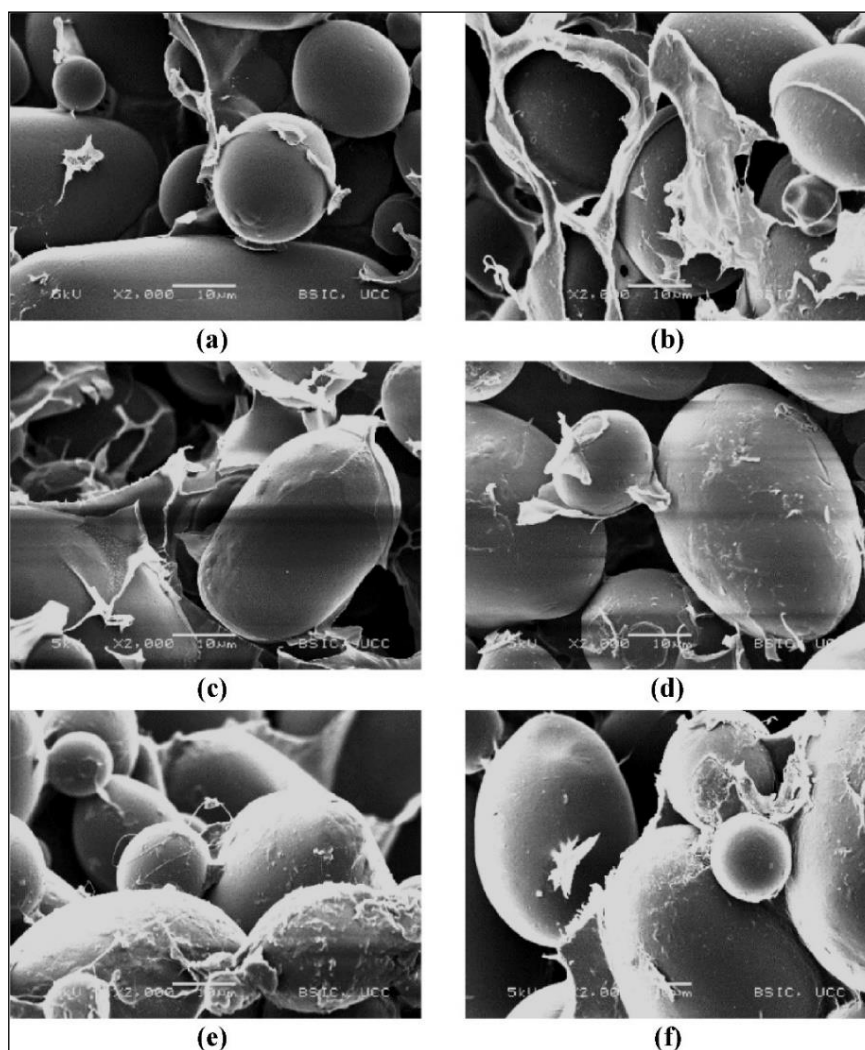
9. ábra: Hidrokolloidok hatása rizsliszt és kukoricakeményítő alapú rendszerben, 2%-os adagolás mellett.
(LAZARIDOU et al., 2007)

Rizsliszt alapú rendszerben hidrokolloidok 2%-os adagolásának hatását vizsgálva SAHIN és munkatársai (2020) azt tapasztalták, hogy a kenyértészta stabilitása HPMC és xantán adagolásával érte el a leghosszabb időt összehasonlítva más (nátrium-alginát vagy szentjánoskenyér-magliszt) hidrokolloidokkal. A kenyértészta kialakulási idejét tekintve pedig a HPMC és a xantán esetén mérték a leghosszabb kialakulási időt (1.22 perc), míg a szentjánoskenyér-magliszt esetén nagyon rövid idő alatt elérte a tészta a maximális konzisztencia értéket (10. ábra).



10. ábra: Rizsliszt alapú gluténmentes kenyértészták farinográfus vizsgálata különböző hidrokolloidok adagolásával (SAHIN et al., 2020)

A hidrokolloidok burgonyakeményítő alapú rendszerben 2%-os adagolását vizsgálva SEM felvételek alapján (11. ábra) elmondható, hogy a HPMC és a szentjánoskenyér-magliszt, valamint bizonyos mértékben a guar gumi a keményítőszemcsék felett kiterjednek és hálózatot alkotnak. Ezzel ellentétben a nátrium-alginát a keményítőszemcséket bevonó vékony filmréteget képez. A pektin és a xantán a kettő közötti átmenetet alkot: részben a keményítőszemcsét bevonó filmréteget, részben fölöttük átívelő szálak hálózatait adják (HORSTMANN et al., 2018). Ez különösen fontos, mivel a hidrokolloidok által képzett szálak elrendeződésének és vastagságának hatása van a kenyértészta viszkozitására (HORSTMANN et al., 2018), valamint a keményítőszemcsék duzzadásképeségére. Hidrokolloidok és keményítők egyidejű alkalmazásakor a keményítőszemcsék duzzadása és a keletkező kenyértészta viszkozitása csökken. Ennek magyarázata a szabad víz korlátozott elérhetősége/hozzáférhetősége volt, ami a keményítő granulátum megduzzadásához szükséges (BEMILLER, 2011).

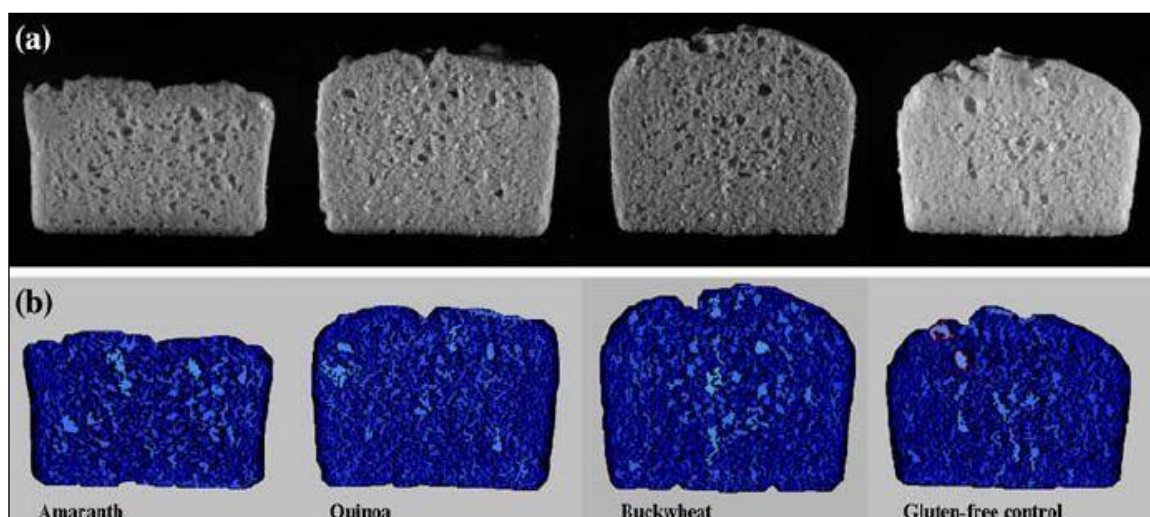


11. ábra: SEM felvétel hidrokolloidok 2%-os adagolásánál burgonyakeményítő alapú rendszerben. (a) guar gumi; (b) HPMC; (c) szentjánoskenyér-magliszt; (d) pektin; (e) nátrium-alginát; (f) xantán (HORSTMANN et al., 2018)

2.3.4. Pszeudocereáliák

Számos tanulmány bizonyítja, hogy egyes pszeudocereáliák (*álgabonák*) használatával - mint például a hajdina, amarant, quinoa, lenmag - javítható a gluténmentes kenyerek állaga, eltarthatósága, íze, valamint beltartalmi értékeik (ALVAREZ-JUBETE et al., 2009a, CASELATO-SOUSA és AMAYA-FARFAN, 2012). A szakirodalomban legnagyobb számban a hajdinát (*Fagopyrum esculentum*) – más néven pohánkát – tanulmányozták és javasolták gluténmentes kenyerekhez, mivel a hajdinalisztnek van a legkedvezőbb színe és aromakomponensei (LIN et al., 2009). Hajdina hozzáadásával növelhető a kenyérbélzet ruganyossága, a képződő cellák száma és méreteloszlása, valamint a héj vastagságára is kedvező hatást gyakorol (12. ábra, ALVAREZ-JUBETE et al., 2009a). Keményítőszerkezetét tekintve az

amarant mellett a hajdina mutatkozik a legalkalmasabbnak arra, hogy a gluténmentes lisztkeverékek reológiai tulajdonságait kedvezően befolyásolja. TORBICA és munkatársai (2010) reológiai mérésekkel bizonyították, hogy különbség van hántolt és hántolatlan hajdina használata között. Javaslatuk szerint a hántolt hajdina használata az előnyösebb, mivel a hántolatlan hajdina keserű ízt ad a terméknek.



12. ábra: Gluténmentes kenyerek bélzete amarant, quinoa, hajdina és gluténmentes kontroll minta esetén (ALVAREZ-JUBETE et al., 2009a)

Fontos azonban, hogy milyen komplex rendszerhez adagoljuk a hajdinát: egyes kutatások 30% (WRONKOWSKA et al., 2008), 40% (MARIOTTI et al., 2012) hozzáadott hajdinaliszt esetén érték el a legjobb eredményt, míg más kísérleteknél 50% hajdinaliszt használatát javasolják (ALVAREZ-JUBETE et al., 2009b). Mivel a hajdina aroma – és színekomponensei ekkora mennyiségben már jelentősen befolyásolják a végtermék ízét valamint színét (LIN et al., 2009), ezért érzékszervi és gazdasági szempontból is fontos a megfelelő mennyiség megtalálása. Az optimális mennyiség meghatározáshoz minden esetben figyelembe kell venni, hogy milyen keményítőt, hidrokolloidot és/vagy egyéb pszeudocereáliát tartalmaz a rendszer. Fontos szempont továbbá, hogy a kenyértészta tartalmaz-e kovászt. A gluténmentes kenyerek eltarthatóságát nagymértékben növeli a kovász hozzáadása, melynek elkészítésére a hajdina is alkalmas (MORONI et al., 2011; CAPUANI et al., 2013). Amennyiben a rendszer tartalmaz hajdina alapú kovászt, úgy annak mennyiségét bele kell számolni további hajdinaliszt adagolás esetén.

A hajdina mellett fontos kiemelni az amarantot (*Amaranthus spp.*), melynek lisztje szintén pozitívan hat a gluténmentes lisztek reológiai tulajdonságaira, illetve az abból készülő végtermékre. Ellentétben a hajdinaliszttal az amarantlisztből a javasolt mennyiség 10% (GAMBUS et al., 2002; MARCINIAK-LUKASIAK és SKRZYPACZ, 2008). Ennél nagyobb

mennyiségben a kenyér színe túl sötét lesz, a térfogata valamint a tészta rugalmassága is csökken (LEMOSE et al., 2012). Az amarant keményítőszemcséi sokszög alakúak, és őrléstől függően akár rendkívül kis méretűek (1-3 μ m) is lehetnek, így jobban ellenállnak a mechanikai hatásoknak. Fontos továbbá, hogy vízkötő képessége nagyobb a búzakeményítőnél (HARASZI, 2002).

Az amarant igazán fontos szerepét a benne található fehérjék adják. Az albumin és globulin frakciók részaránya rendkívül magas (61%), és a glutelin frakció is jelentős szereppel bír (21%). Ezen kívül a lizin tartalma is jóval magasabb (5%) mint a gabonafélékben, ahol a lizin limitáló aminosavnak számít (MBURU et al., 2012; CASELATO-SOUSA és AMAYA-FARFAN, 2012). Ez a kedvező összetétel javítja a gluténmentes tésztákban a fehérje térhálót, így a tészta nyújthatósága és gáztartó képessége javul (BERTI et al., 2004).

A pszeudocereáliák nem csak a termék reológiai tulajdonságait javítják, de egyúttal a termék beltartalmi értékeire is szignifikáns hatást gyakorolnak. Használatukkal növekszik a kenyér fehérje-, rost-, vitamin-, telítetlen zsírsav-, valamint antioxidáns tartalma is (HAGER et al., 2012a). 30-40% mennyiségű pszeudocereália használatakor már annyi rost kerülhet a rendszerbe, melynek következményeként további rostforrás adagolása nem szükséges, ezzel csökkentve a kenyérfeldolgozás folyamatának és a tészta összetételének komplexitását. Használatukkal kapcsolatban meg kell jegyezni, hogy döntően megváltoztathatják a kenyér színét, ízét, térfogatát, ezért minden esetben érzékszervi minősítés és tárolási kísérlet elvégzése javasolt.

Ugyan számos előnyt biztosíthat egy-egy álgabona, vagy akár több pszeudocereália egyidejű használata, azonban fontos megemlíteni három főbb hátrányukat: jelentősen magasabb az árak a kukorica- és burgonyakeményítőnél illetve a rizslisztnél, valamint nagyon kevés beszállító tudja garantálni azt, hogy a malmai feldolgozás (őrlés) és / vagy a csomagolás során nem történik kontamináció, így biztonsággal felhasználható gluténmentes diétában. A harmadik legfontosabb hátrányuk, hogy már kisebb mennyiségben is jelentősen megváltoztatják a termék színét, illatát és ízét.

2.4. Lisztminősítési módszerek

Gluténmentes kenyértészták reológiai vizsgálata esetén több tényező is döntő befolyással bír: keményítő eredete (rizs, kukorica, burgonya, stb.) és összetétele (amilóz-amilopektin arány) (HORSTMANN et al., 2016), szemcsemérete (QIN et al., 2021), hozzáadott hidrokolloid típusa és mennyisége valamint a vízfelvétel mértéke (SAHIN et al., 2020; HORSTMANN et al., 2018).

A reológiai tulajdonságokat elsősorban a keményítő és a fehérje frakció határozza meg. Attól függően, hogy az adott módszer melyik frakciót veszi alapul, megkülönböztethetünk

fehérjeminőségtől, keményítőminőségtől, valamint fehérje- és keményítőminőségtől egyidejűleg függő tulajdonságokat meghatározó módszereket.

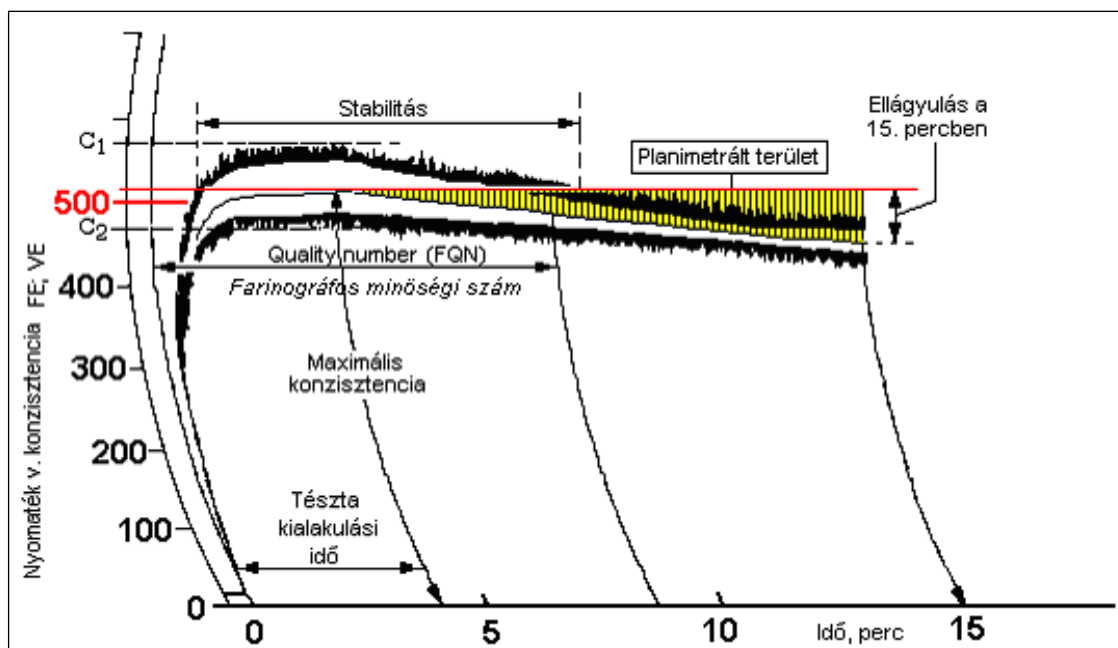
Ezek a módszerek azonban búzasikér tartalmú lisztre lettek kidolgozva, nem gluténmentes lisztkeverékekre. Utóbbi esetében a mai napig nincs standard módszer a minősítésre (FARKAS et al., 2021), ezért a publikációkban is különböző módszerek jelennek meg: farinográf, mixográf, alveográf és extensográf (BURESOVA et al., 2014), vagy reológiai vizsgálatoknál a rheometer illetve a Rapid Visco Analyser (RVA) (MATOS és ROSELL, 2014).

2.4.1. Farinográfos mérés elmélete és gyakorlata

Gluténmentes cereáliából készült lisztek és lisztkeverékek vizsgálatakor a fehérjetartalom és a fehérje összetétel is eltérő a búzaliszttól, illetve a sikérháló reológiai tulajdonságai is gyengébbek. Ennek vizsgálatához a dagasztáson alapuló módszerek alkalmasak, ahol a mixerek azt az energiát (keverési ellenállást) mérik és regisztrálják, ami a tésztakialakulás során az alapanyagokra jellemzően és folyamatosan változik (HARASZI, 2002). Ilyen elven működik például a farinográf.

A farinográf két darab ellentétes irányban és eltérő sebességgel forgó Z-karú keverőt tartalmaz. A mérés során pontosan ismert mennyiségű lisztmintát helyeznek a dagasztócsészébe, majd egy bürettából adagolva, ezáltal pontosan ismert mennyiségű víz hozzáadásával megkezdődik a dagasztás. A farinográf a meghajtó tengelyre gyakorolt nyomatótkot méri, mely a karok és a csésze között lép fel. A kapott értékek görbén jelennek meg, melyeket farinogramnak neveznek. A régebbi berendezéseknél mechanikus úton, az újabb gépek esetében elektronikus úton történik a görbeillesztés (HARASZI, 2002). A kapott görbékről a lisztből és vízből dagasztott tészta konzisztenciáját olvashatjuk le a dagasztás és az ellágyulás időtartama alatt (13. ábra). Jelen esetben konzisztencia alatt a meghatározott sebességgel dagasztott tészta ellenállását értjük, mely a gépre jellemző adott egységben adható meg: Farinográf egység- FU/FE. Az optimális liszt-víz arány megállapítására a tapasztalati úton meghatározott és elfogadott 500 FU konzisztencia értéket használják. A kapott görbe alakjából, az adott szakaszokhoz tartozó adatokból következtethetünk a liszt minőségére.

A felvett görbe a tészta kialakulását, stabilitását majd ellágyulását mutatja meg. A vízadagolás megkezdésekor elkezd kialakulni a tészta, ekkor a görbe hirtelen növekvő tendenciát mutat. A tésztaképződési időtartam addig tart, amíg a tészta el nem éri az 500 FU konzisztencia értéket. Azt az időtartamot hívjuk a tészta stabilitásának, amíg a tészta ezt a konzisztencia értéket tartja. A folyamatos mechanikai hatás miatt a görbe lefutása távolodik az 500-as FU értéktől, ami a téstaszerkezet lágyulását, gyengülését jelzi. A görbén ezt az ellágyulási érték adja meg.



13. ábra: A farinogram értelmezése (SZALAI, 2006)

Az MSZ ISO 5530-3 szabvány alapján a különböző osztályok jellemzői a 14. ábrán láthatóak.

Minőségi osztályra jellemző görbe	Tészta kialakulási idő [perc]	Vízabszorpció [%]	Fehérjetartalom [%]	Keményítőszemcse sérülés	Felhasználás
 A WEAK MINUTES	rövid (<2,5)	kis (<55)	kis (7,5-9)	alacsony	édes tésztából készült termékek, kekszek és metélt tészták
 B MEDIUM MINUTES	2,5-4	54-60	10-11,5	-	kis térfogatú kenyerek
 C STRONG MINUTES	4-8	>58	>11,5	-	kenyerek előállítására, gyengébb lisztek erősítésére (keverék liszt)
 D VERY STRONG MINUTES	>10	-	>11,5	jelentős	javítóliszt

14. ábra: A minőségi osztályok jellemzése (Forrás: NÁDOSI, 2005)

Gluténmentes lisztkeverékek farinográfus vizsgálatok a vízfelvételt, a maximális konzisztenciát, tésztakialakulási időt és stabilitást szokták vizsgálni. Farinográfus mérésekkel elemezték többek között a kukoricában található zein fehérje tésztaképzési tulajdonságainak változásait a hőmérséklet függvényében (BEAN et al., 2021), enzimkezelt és arabinoxylannal dúsított gluténmentes kenyértészta tulajdonságait (FARKAS et al., 2021), különböző rizslisztekből készült kenyértészták vízfelvételét és viszkozitását (AOKI et al., 2020) vagy különböző hidrokolloidok hatását a tésztaképzési tulajdonságokra (LAZARIDOU et al., 2007; SAHIN et al., 2020).

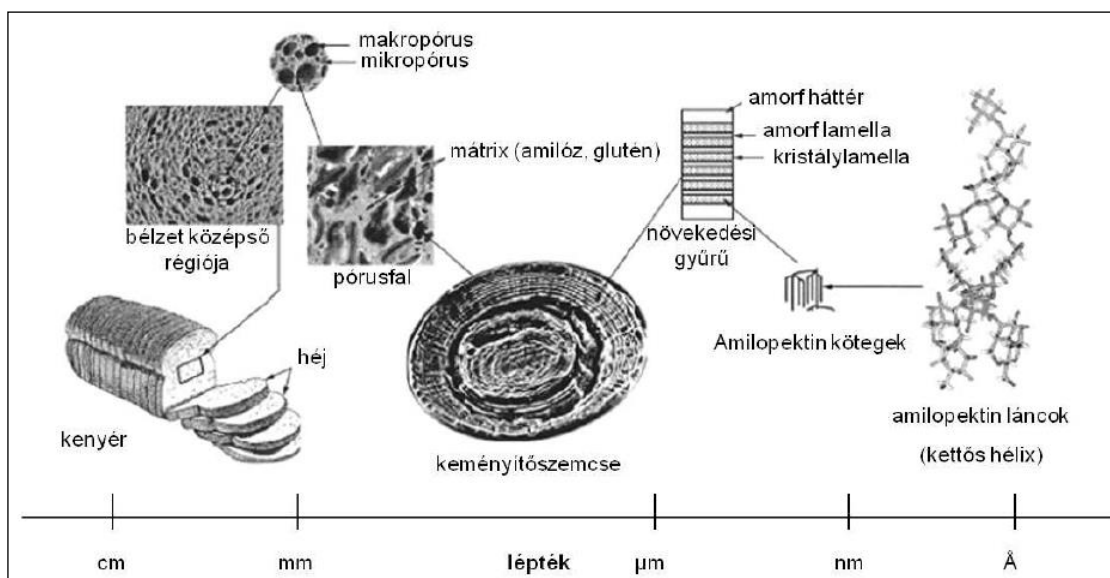
A fentiekén kívül farinográfus vizsgálatokat végeztek különböző fehérjék (tejsavófehérje és borsófehérje) és pszeudocereáliák gluténmentes kenyértészták reológiai vizsgálatára (van RIEMSDIJK et al., 2011; BEITANE et al., 2015), hogy miként és mekkora mértékben befolyásolják a tészta konzisztenciáját, kialakulási idejét és stabilitását.

A módszer hátrányaként szokták említeni, hogy a gluténmentes lisztkeverékek nagyfokú összetételbeli különbségei miatt nincs standard mérési módszer/szabvány, illetve az összetételtől függően nem minden esetben lehetséges a mérés. Ennek oka, hogy nagyon ragacsos tésztaszerkezet alakul ki a dagasztás során, ami inhomogén keveréshez/dagasztáshoz vezet. A felmerülő problémák megoldására, kifejezetten a gluténmentes lisztkeverékek méréséhez fejlesztette ki a Brabender cég azt a farinográfhoz alkalmazható kiegészítő berendezést (FarinoAdd-S300), melyben csökkentették a keverőkamra térfogatát és ami homogén keverési folyamatot biztosít a zárt keverőkamrában (SAHIN et al., 2020). Ezáltal a farinográf alkalmassá vált a gluténmentes lisztkeverékek mérésére.

2.5. A kenyérbélzet kialakulása és tulajdonságai

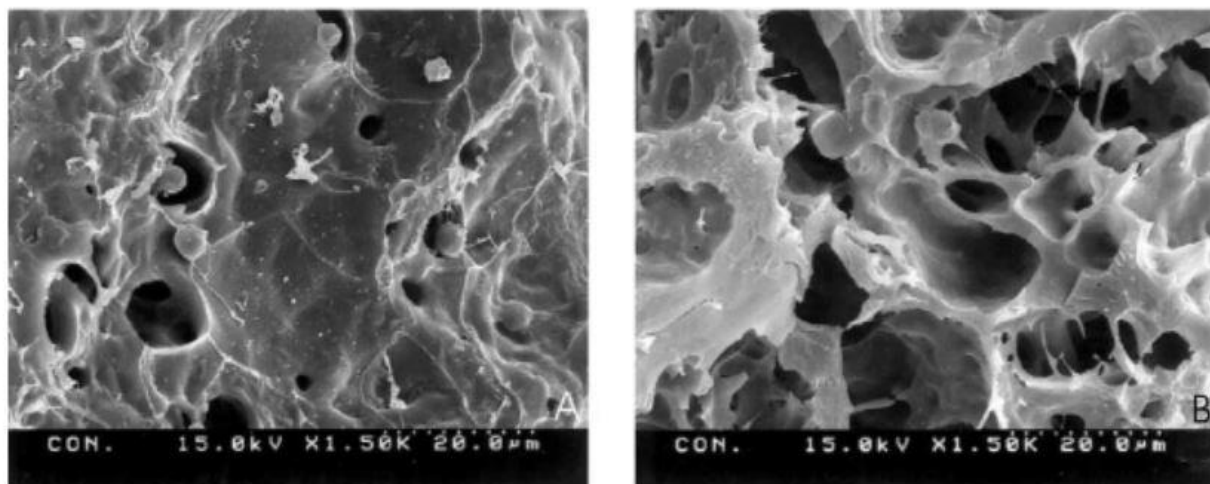
2.5.1. A kenyérbélzet reológiája

A kenyér egyik legfontosabb része a bélzet, melynek állaga, textúrája, színe és íze döntően befolyásolja a termék végső minőségét. A bélzet makroszkópikus szinten egy szilárd és egy fluid fázisból álló lágy szilárd anyag (MERETEI, 2012). A szilárd fázist a keményítő és a fehérje komplex rendszere, míg a fluid részt a levegő adja (15. ábra). A két fázis térfogataránya és kapcsolatuk jellege határozza meg a kenyér szerkezetét és így mechanikai tulajdonságait.



15. ábra: A kenyérbélzet felépítése (MERETEI, 2012, LIU és SCANLON, 2003 nyomán)

A dagasztás során különösen fontos, hogy a megfelelő állag alakuljon ki. Ehhez az szükséges, hogy létrejöjjön és stabil maradjon a sikérváz. A tészta kialakulásakor a dagasztás során a fehérjék kolloid rendszert alkotnak, a keményítőt pedig hidrátburok veszi körül. A dagasztást követő pihentetés közben a prolamin fehérjék megduzzadnak, és kialakul a viszkoelasztikus kenyértészta (BARAVALLE et al., 2015). A viszkózus és a rugalmas (elasztikus) tulajdonságoknak egyensúlyban kell lenniük, különben a tészta vagy túl folyós állagú, vagy nagyon nehezen formázható lesz. Mindkét esetben a termék végső minősége gyengül. A viszkózításban inkább a gliadin (ABONYI, 2010), míg az elasztikus tulajdonságok kialakításában a glutenin frakció bír jelentős szereppel (XU et al., 2007). Fontos változás a tészta reológiai szempontjából, hogy a sütés során a hőkezelés hatására a tészta viszkózus tulajdonsága lecsökken, és az elasztikus tulajdonságok fognak dominálni. Sütés közben 60-80°C közötti hőmérséklet tartományban a siker fehérjék irreverzibilisen denaturálódnak, míg a keményítő frakció elkezd csírizesedni. Ennek következtében a keményítőszemcsék elkezdenek duzzadni, és egyre több vizet kötnek meg. Sütés során a bélzet hőmérséklete nem emelkedik 100°C fölé, és a sütés akkor tekinthető befejezettnek, ha a kenyér termikus középpontja legalább 5 percig 95°C fölé van (NICOLAS et al., 2014). Ekkor a tészta nem marad nyers, kialakul a végső szerkezet, és mikrobiológiai szempontból is biztonságossá válik a termék. A kész kenyérbélzet víztartalma 35-40% között ideális. A végeredményként kapott bélzet reológiai szempontból komplex kolloid rendszernek tekinthető: nyitott szilárd hab, melynél a levegőbuborékok a szilárd vázban vannak elosztatva, ugyanakkor a szilárd váz további belső szerkezettel is rendelkezik (MERETEI, 2012), melyet a 16. ábra mutat be.

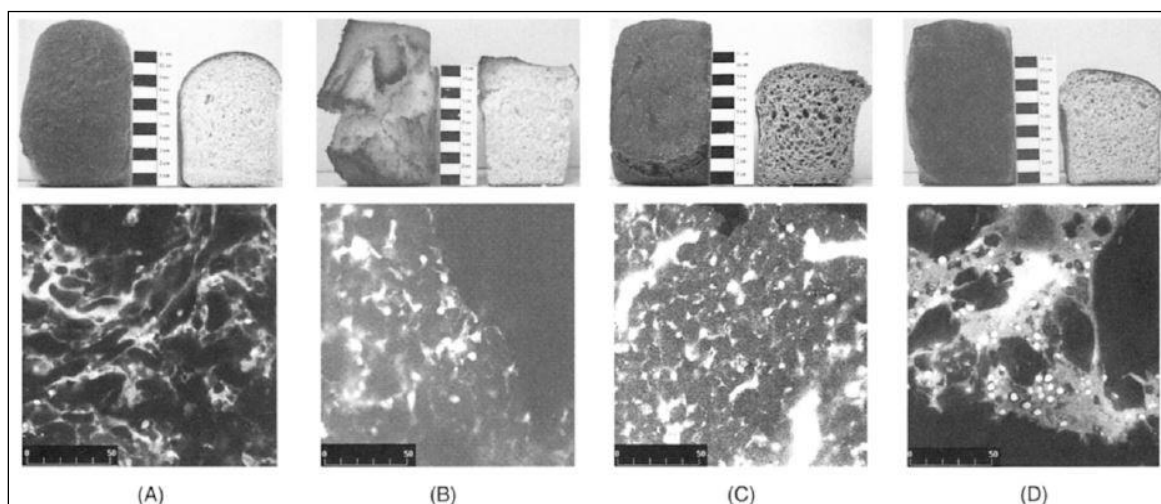


16. ábra: A kenyérbélzet tipikus nyitott hab szerkezete (SEM felvétel, KIM et al., 2003)

Gluténmentes termékek esetében azonban a fehérje szerkezet lényegesen gyengébb, így a kialakuló kenyér állaga, és végeredményben a bélzete is eltérő lesz a búzalisztes kenyerekhez képest (17. ábra). Ugyan számos fejlesztési irány lehetséges, de ezek eddig publikált eredményei nem tekinthetők univerzálisan alkalmazható megoldásnak (NGEMAKWE et al., 2015).

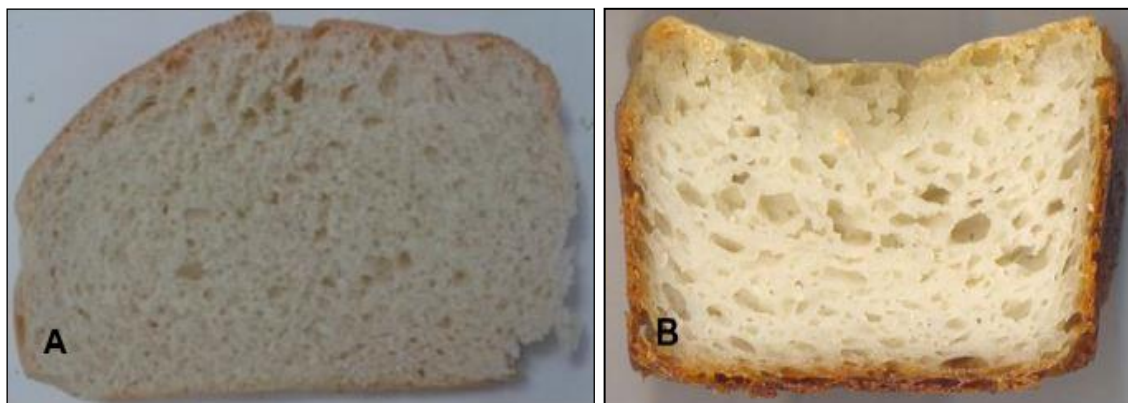
A 17. ábrán is jól látható, hogy a gluténmentes kenyerek bélzete vagy tömörebb, morzsalékosabb, vagy szignifikánsan nagyobb pórusokat tartalmaz. Lényeges különbséget ad, hogy a gluténmentes kenyér kukoricaliszt vagy rizsliszt alapú. A rizslisztból készült kenyér bélzete tartalmazza a legnagyobb pórusokat (18. ábra).

Mivel a gluténmentes lisztkeverékek nagyobb részben tartalmaznak keményítőt és a fehérje frakció aránya alacsonyabb, így a bélzet kialakítás szempontjából fontos a keményítő eredete és összetétele, pontosabban az amilóz és amilopektin frakciók aránya (HORSTMANN et al., 2017b).



17. ábra: Különböző kenyerek bélzetéről készült felvételek konfokális lézer pásztázó mikroszkóppal. (A)

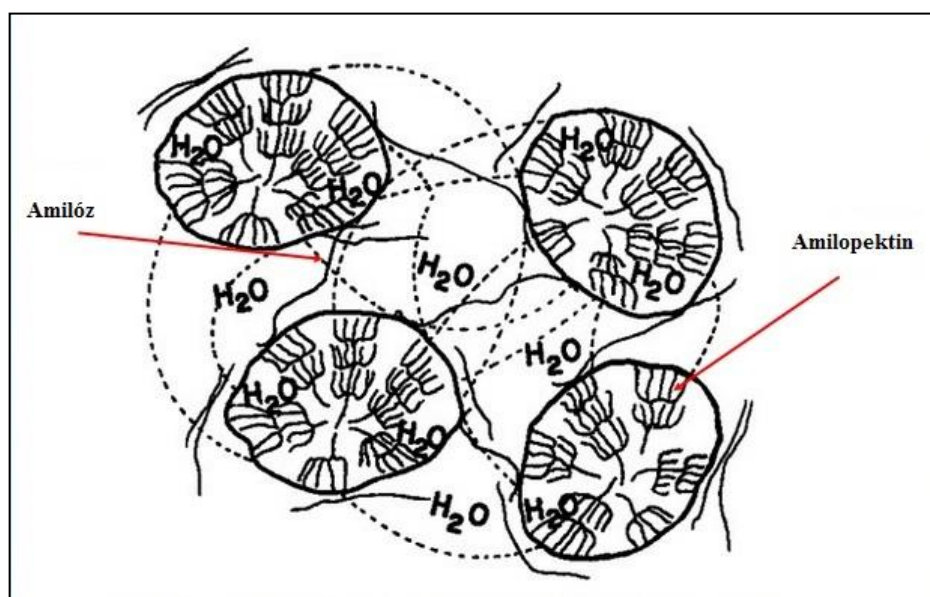
Búzalisztes kenyér, (B) Gluténmentes lisztkeverékből készült kenyér, (C) Tejmentes gluténmentes kenyér, (D) Tejes gluténmentes kenyér (ARENDR et al., 2008b)



18. ábra: (A) Hagyományos búzalisztból készült kenyér (BARAVALLE et al., 2015), (B) Rizsliszt alapú gluténmentes kenyér (STORCK et al., 2013)

A kenyér készítése során 30°C fokon a keményítő szemcsék össze vannak tapadva. Ez a hőmérséklet emelésével megváltozik: 40°C fokon elkezdnek vizet megkötni és elválni egymástól. 50°C körül fokozódik a vízfelvétel, a szemcsék megduzzadnak, és az amilóz szálak jutnak ki a szemcse belsejéből. 65°C fokon a szemcsék felszíne felszakadozik, alakjuk deformálódik, míg 70°C fokon már csirizesedésről beszélünk, ahol a viszkozitás lényegesen nagyobb. 90°C körül a szemcsék teljesen szétesnek. Ezt a folyamatot mutatja be az 5. számú melléklet.

A két keményítő polimer a tészta kialakulása során keveréket alkot, ahol a szemcsék közötti intergranuláris fázisba amilóz oldódik ki. Ennek az amilóznak egy része a lisztben található endogén lipid fázissal zárványokat képez (ARENDDT et al., 2008a), míg az amilóz nagyobbik hányada a hőmérséklet emelkedése miatt gélesedik. Az így kialakult rendszert szemlélteti a 19. ábra.



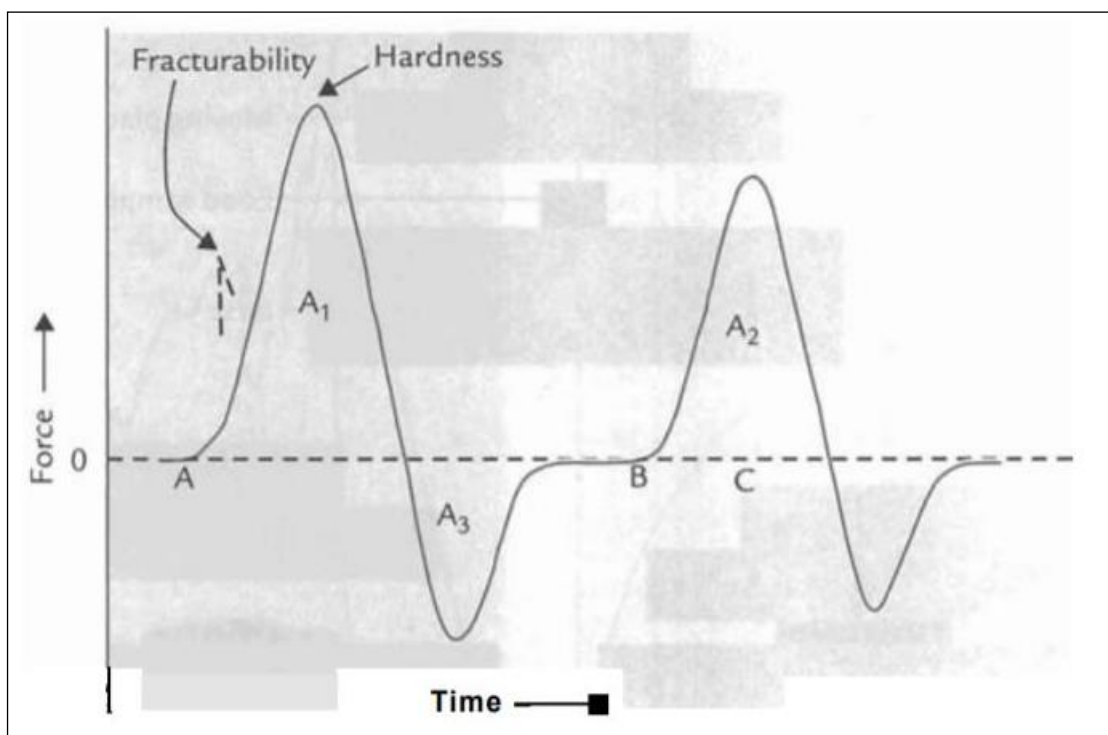
19. ábra: Gélesedett keményítő szerkezet és a benne megkötött víz (HUBBARD, 2014)

A sütést követő lehűtött állapotban a kenyérbélzet szerkezetében azt tapasztaljuk, hogy az oldott amilóz folytonos hálózatot képez, melyben a duzzadt és deformált keményítő granulátumok vannak beágyazódva, illetve egymás közötti kapcsolatban. A kenyér tárolása során a bélzet víztartalma a héj felé áramlik, aminek következtében a bélzet kiszikkad, illetve veszít elasztikus tulajdonságaiból. Ezt a folyamatot hívják az amilopektin frakció retrogradációjának. A keményítők közül a rizskeményítő retrogradációs sebessége a legnagyobb, míg a búzskeményítőé a legalacsonyabb (GOMOLMANEE et al., 2012; BERTOFT et al., 2016). A keményítő-fehérje komplex gyenge, nagyon hamar vizet veszít és kiszárad. Mivel nem alakul ki az erős síkerváz, melynek segítségével a termék a kelesztés során meg tudná tartani a képződő gázokat, valamint a prolamin fehérje frakció és a keményítő sem képes olyan mértékben hidratálódni, mint a búzalisztes termékek esetében, így a tárolás során a termék gyorsabban kiszikkad. A sütés során pedig nem alakul ki olyan textúrájú héjszerkezet sem, mint a búzalisztes kenyereknél: a gluténmentes kenyerek héja nem ropogós, inkább vastag és a kívánnál szárazabb (ARENDT et al., 2008).

Az említett okok miatt a gluténmentes kenyeret fogyasztók körében elfogadott és gyakran használt gyakorlat, hogy a nem friss sütésű gluténmentes kenyeret fogyasztás előtt melegítik vagy toast kenyérként használják fel.

2.5.2. A kenyérbélzet reológiai tulajdonságainak vizsgálata

A reológia definíció szerint adott idő alatt külső erő által bekövetkező alakváltozást, folyási tulajdonságot és deformációt jelent. A fogyasztók elvárásai alapján az a bélzet tekinthető jó minőségűnek, melynél a deformáló erő hatására létrejövő alakváltozás nagy, és a teljes alakváltozáson belül nagy a rugalmas deformáció részaránya (MERETEI, 2012). A kenyérbélzet vizsgálatának egyik leggyakrabban használt módszere a Texture Profile Analysis (TPA). A módszer lényege hogy a mintát adott erőhatással kétszer összenyomják, így imitálva az állkapocs működését és végeredményben a rágást. A létrejövő erő-idő görbéből számos paraméter meghatározható (20. ábra), és ezek összefüggésbe hozhatóak érzékszervi tulajdonságokkal (BOURNE, 2002).



20. ábra: TPA görbe és annak szakaszai (BOURNE, 2002)

A módszert „két harapás” tesztnek is hívják (első harapás az A görbe, a második harapás a B görbe a 20. ábrán). Az első kompressziós kör csúcsa határozza meg a minta keménységét (hardness), az első és a második összenyomás alatti pozitív erőterületek aránya (A_2/A_1 a 20. ábrán) pedig a kohéziót. Az a távolság, ameddig a minta visszanyerte a magasságát az első kompresszió vége és a második kompresszió kezdete között (BC-vel jelölve a 20. ábrán) rugalmasságként írható le (BOURNE, 2002). Az AACC 74-09-es szabvány alapján elvégezett vizsgálat hagyományos és gluténmentes kenyerek vizsgálatára is alkalmas. STORCK és munkatársai (2013) rizsliszt alapú gluténmentes kenyeret vizsgált ezzel a módszerrel, melynek során mérésenként két darab 1.25 cm vastag szeletet vágtak a kenyerekből, és azok bélzetét 20 mm átmérőjű fejjel, 0.02N trigger erővel vizsgálták. A mérőfej sebessége a mérés előtt 5, mérés közben 2.5, a mérés után 5 mm/s, 40%-os alkalmazott kompresszió mellett. A vizsgálatok periódusai között 5 másodperc telt el. LAZARIDOU és munkatársai (2007) különböző hidrokolloidok hatásait vizsgálták gluténmentes rizsliszt alapú tésztarendszerben. Méréseik során 2.5 cm vastag kenyérszeleteket vizsgáltak 25 mm-es mérőfejjel 100 mm/perc sebességgel. A bélzet szilárdságát azzal az erővel jellemezték, ami az eredeti minta 25%-os kompressziójához szükséges. Méréseik alapján a módszer alkalmas gluténmentes kenyerek tárolási kísérlete során a bélzet reológiai tulajdonságában bekövetkezett változások követésére.

ALENCAR és munkatársai (2015) méréseik során rizs, burgonya, manióka és tápióka keményítőből álló rendszerhez adagoltak pszeudocereáliákat (amarantot és quinoát) valamint

édesítőszerkeket, és vizsgálták azok reológiai hatásait. Munkájuk során az AACC 2000-es szabványt követték, melynek megfelelően 1 cm vastag szeleteket vágtak a kész kenyerekből, és mérték a bélzet szilárdságát (firmness) mérés előtt 1, mérés közben 1.7, a mérés után 10 mm/s sebességgel 40%-os kompresszió mellett 36 mm átmérőjű fejjel. Eredményeik alapján kijelenthető, hogy az általuk használt módszer alkalmas volt a bélzet reológiai tulajdonságainak mérésére, és azokból összehasonlító eredmények születtek.

ZIOBRO és munkatársai (2012) különböző módosított keményítők hatásait vizsgálták gluténmentes kenyerekben. Eredményeik jelentősek, mert egyértelműen bebizonyították a különböző módosított keményítők használatának előnyeit: a felhasznált módosított keményítő függvényében csökkent a bélzet keménysége és rágóssága (szikkadásának mértéke) kétnapos tárolás során. Méréseikhez TPA módszert alkalmaztak, mely során a kenyérszeletek közepéből 2 cm magas mintákon 20 mm-es mérőfejjel, 5 mm/s sebességgel 50%-os kompresszióig mértek. Eredményül megállapították, hogy a módosított keményítők használata jótékony hatást gyakorol a bélzet reológiai tulajdonságaira, azon belül is az elasztikus tulajdonságokra.

A fenti példákból látható, hogy a TPA elfogadott és alkalmas módszere a kenyérbélzet vizsgálatának gluténmentes termékek esetében is.

2.6. Sütőipari termékek érzékszervi minősítése

Az érzékszervi minősítés az egyik legfontosabb területe az élelmiszeriparnak. Ennek segítségével felmérhetők a fogyasztói igények, termékek kedveltsége, hiányosságai, fejlesztési irányok.

A kenyerekkel kapcsolatos meghatározásokat és szakkifejezéseket a *Magyar Élelmiszerkönyv 1-3/16-1 számú előírása* tartalmazza. Ezek alapján a következő jellemzőket kell kiemelni:

- Alak: vekni, kerek vagy formában sült, arányosan domború, nem lehet torz, benyomódott
- Héj: a kenyértípusra jellemző színű, fényes, sima vagy cserepes esetleg szórt és/vagy vágott. Nem lehet végig repedt, kormos, szennyezett, égett, ázott, átnedvesedett, vagy feltűnően sérült.
- Bélzet: a kenyérbél átsült, héjtól nem elváló, felhasznált liszt jellegének megfelelő színű, egyöntetű állományú, rugalmas, csomómentes. Nem lehet szalonnás, ragacsos, morzsálódó, széteső, nem tartalmazhat idegen anyagokat, csomókat és nem lehet mikroorganizmusok által károsított.
- Íz és illat: a kenyértípusra jellemző aromájú, nem lehet idegen ízű és szagú

- Szárazanyagra vonatkoztatott konyhasótartalom legalább 1.5 %, legfeljebb 2.5 %
- A szárazanyagra vonatkoztatott sótartalom NaCl-ban kifejezve: $1.3\% < x < 2.35\%$
- Alaki hányados legfeljebb 2.2
- Bélzetrugalmasság (R/D) legalább 0.8
- Savfok legalább 3.0

A *Magyar Élelmiszerkönyv MSZ 20501-2:2018* szabványa az érzékszervi bírálatok végzéséhez útmutatást ad, valamint megadja a jellemző szakkifejezéseket, meghatározza ezen kenyerek (mint termékcsoporthoz) kizáró érzékszervi tulajdonságait. Utóbbi csoportba tartozik ha például az alak, a héj, a bélzet, az íz vagy az illat kenyértípusra nem jellemző, torz alakú a termék, vagy égett a héja. A szabvány megadja a bírálók tréningezésére javasolt tulajdonságok listáját (például dió, vanília, mandulás, füstös aromák) listáját, valamint a kizáró tulajdonságokét is (avas, gumis, gyógyszeres). Mindkét listánál pontosan leírják azokat a vegyületeket, melyekkel a tréningeket el lehet végezni.

A szabvány ezen kívül megadja az érzékszervi bírálatok módszereit is. Ide tartozik a pontozásos bírálat (összhangban a *ME 1-3/16-1* előírással), a különbségvizsgálati módszereket (egypróba, páros összehasonlító próba, háromszög próba), a rangsorolós bírálati módszert, valamint a leíró bírálati metódust (profilanalízis).

A publikációkban is leggyakrabban megjelenő módszer a pontozásos bírálat, ahol 0-5 pont adható az alak, héj, bélzet, illat és íz tulajdonságokra. Előre meghatározott leírás alapján a bírálók önállóan pontoznak, majd ennek az összesített eredményét használják. Hátránya, hogy a bírálók pontszámainak háttérelmezése (miért adtak annyi pontot) hiányzik, így nehezen összevethető más publikációk adataival.

A profilanalízis az érzékszervi vizsgálatok legátfogóbb módszere, melynek során a vizsgálandó tulajdonságokat a vizsgálat közben határozzák meg a résztvevők és nem pontokat adnak, hanem az adott tulajdonság intenzitását jellemzik (KÓKAI és SIPOS, 2020; MOLNÁR, 1995). Ekkor a bírálók csoportja a korábban meghatározott leíró kifejezéseket alkalmazzák, vagy először egyénileg, majd közös munkával határozzák meg a leíró tulajdonságok körét. Előbbire lehet példa a kenyér aromakerék (3.12. fejezet), melynek használatát a szabvány is javasolja.

A páros összehasonlító próba során egymástól eltérő elemekből álló mintapárokat kell összehasonlítani, és közöttük különbséget keresni előre meghatározott szempontok alapján. A bíráló itt is intenzitás alapján dönt, és jelöli meg az egyik mintát.

A szabvány nem tesz különbséget hagyományos és gluténmentes termékek között, ebből fakadóan a gluténmentes kenyereket is pontosan ugyanazon szempontok szerint kell bírálni, mint a

búzalisztes kenyereket. Bár gluténmentes kenyerekkel számos publikáció foglalkozik (6. ábra), azonban a részletes érzékszervi minősítéssel rendkívül kevés (WOJTASIAK et al., 2015; ALENCAR et al., 2017). A megjelent tanulmányokban leggyakrabban 10 fővel kóstoltatják meg a mintákat, és pontozásos módszerrel 5 – 10 pontos skálán értékeltetik a bírálókkal a termékeket részletesebb jellemzés nélkül. A bírálókról rendszerint kevés információ jelenik meg: a képzettségüket illetően (képzett vagy laikus bíráló), vagy hogy ismerik-e a gluténmentes termékeket, kell-e gluténmentes diétát folytatniuk, rendszeresen fogyasztanak-e kenyeret.

Kevés cikk foglalkozik a gluténmentes kenyerek aromájával, annak hiányosságaival és javítási lehetőségeivel. PICO és munkatársai (2018) cikkében a műszeresen detektálható aromakomponenseket vették górcső alá, és kimutatták, hogy teff és gluténmentes búzakeményítő hozzáadásával 2-ACPY (2-acetil-1-pirrolin), 4-hidroxi-2,5-dimetil-3(2H)-furanon és pirazinok keletkeznek a kenyér héjában, ami közel áll a búzalisztből készült kenyér héjában megtalálható legfontosabb aromakomponenshez, a furfurolhoz (PICO et al., 2019). A rizsliszből készült kenyerek bélzetében és héjában kimutatott aromaanyagok szignifikáns különbséget mutatnak a búzalisztes kenyerekhez képest, kevés átfedést adva, ami tovább erősíti a rizsliszt alapú kenyerek eltérő érzékszervi tulajdonságait (KOEHLER et al., 2019). Utóbbi tanulmányban azt is igazolták, hogy a kialakuló aromakomponenseket illetve azok mennyiségét befolyásolja a liszt frissessége is.

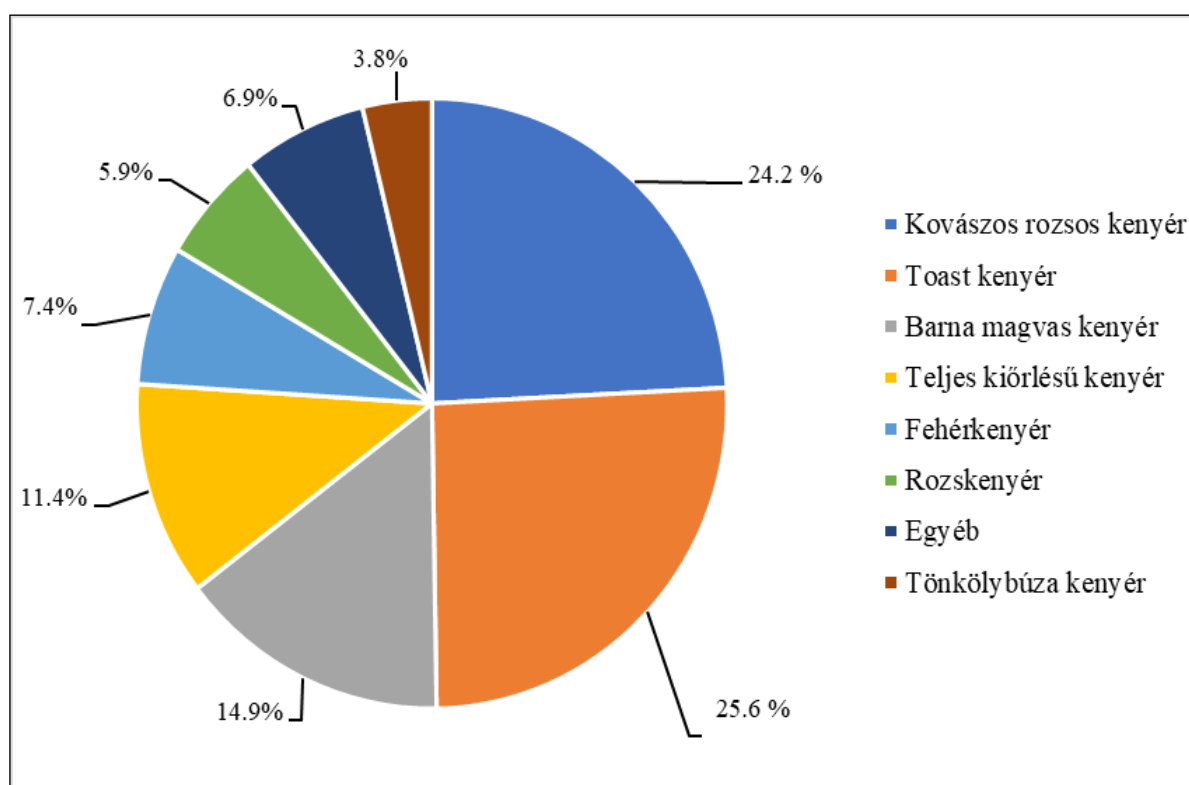
Az aromaprofilit javítani tudták méhpollen hozzáadásával (PIGA et al., 2020), valamint kukoricakeményítő alapú kenyérnél amarant liszt hozzáadásával (PICO et al., 2017a). Fontos eredményt jelentett az a felfedezés, miszerint a kukoricakeményítő alapú gluténmentes kenyerek bélzetében 31 olyan aromakomponenst találtak, mely a búzalisztes kenyerekben is megtalálható, ezért a különbség számottevő része a héj aromakomponenseinek különbségéből adódhat (PICO et al., 2017b). További javulás mutatható ki a kelesztési idő növelésével és a felhasznált olaj mennyiségének csökkentésével.

Az érzékszervi minősítési módszerrel kapcsolatban limitáltak a publikációk (STONE et al., 2012). Ennek hátterében több dolog állhat: nincs nemzetközileg meghatározott módszer, nincs kellő fókuszban ez a terület, illetve nincs megadva, hogy kinek kell a minősítést elvégezni. Ez különösen fontos, mivel a gluténmentes termékek eltérnek a hagyományos sütőipari termékektől, és azok az emberek, akik ehhez az eltérő ízvilághoz és textúrához szoktak hozzá a diéta miatt, azok másképp értékelik ugyanazt a gluténmentes kenyeret, mint azok, akik búzalisztes sütőipari termékeket fogyasztanak napi szinten, és ismeretlen számukra a kukoricas vagy rizslisztes ízvilág.

Adott esetben problémát jelenthet, hogy standardként nem búzalisztes kenyeret használnak, hanem egy általános és gyengébb minőségű terméket eredményező recept alapján elkészített gluténmentes kenyeret (18. ábra). Ezekben az esetekben minőségi javulást tudnak

elérni, de csak az alacsonyabb minőségű standardként megválasztott gluténmentes kenyérhez képest, holott a valódi piaci igény az, hogy a termék a búzalisztból készült kenyérre hasonlítson a lehető legtöbb szempontból.

Adódik továbbá a kérdés, hogy milyen búzalisztes kenyér legyen a standard termék. Fontos lenne figyelembe venni és a nemzetközi publikációkban hangsúlyosan kiemelni, hogy milyen minőségügyi követelményeknek felel meg az adott standard termék. Gondolok itt arra, hogy míg Dél-Amerikában, Ázsiában, Afrikában és a Közel-Keleten a lapos kenyereket, addig Észak-Amerikában és Európában a kelesztett, hozzávetőleg 0.5 kg-os kenyeret részesítik előnyben a fogyasztók. Azonban Európán belül is jelentős különbségeket találhatunk: egy 2019-es hazai felmérés szerint (STORE INSIDER) a fogyasztók Magyarországon döntő többségben a hagyományos fehérkenyeret preferálják (a válaszadók 48%-a), melyet a félbarna és a teljes kiőrlésű kenyerek követnek (29% és 26%-kal). Ezzel szemben Németországban a fehérkenyér vásárlási aránya 7.4%, vagyis az egyik legkevésbé népszerű kenyérféleség (21. ábra).



21. ábra: Német kenyérfogyasztási adatok (Német Pékszövetség, 2020)

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. A hazai fogyasztói igények és a jelenleg fennálló problémák felmérése

A megfelelő információk gyűjtéséhez szekunder, majd primer kutatást végeztem. A szekunder kutatás során a tudományos adatbázisok (Scopus, Web of Knowledge, PubMed és Google Scholar) vonatkozó cikkeiben kerestem arra vonatkozó információt, miszerint:

- Milyen egészségügyi ok miatt követnek gluténmentes diétát? (Coeliakia, NCGS, búzaallergia vagy egyéb okból)
- Milyen a diétázók életkor szerinti eloszlása?
- Van-e a gluténfogyasztáshoz köthető egészségügyi problémán kívül más, ételmiszerfogyasztáshoz köthető allergiája vagy intoleranciája?
- Miket tart a gluténmentes lisztek és kenyerek legfőbb problémáinak? Hogyan priorizálná ezeket?
- Otthon készít saját kezűleg kenyeret vagy készterméket vásárol? Ezeket milyen gyakorisággal teszi? Van-e átfedés a két csoport között, és ha igen akkor milyen korosztálynál?
- Hány különböző gluténmentes lisztet tart egyszerre otthon? Ha többet, akkor mi ennek az oka?
- Mennyire elégedettek a fogyasztók a jelenleg kapható gluténmentes lisztekkel és kenyerekkel?

Az adatbázisokban történő kereséskor külön figyelmet fordítottam arra, hogy a publikációkban szereplő adatok fogyasztói felmérésből származnak-e, és ha igen akkor milyen földrajzi területre vagy nemzetiségre vonatkoznak.

3.1.1. A primer kutatásban használt kérdőív tartalmának meghatározása

A primer kutatásban használt kérdőív elkészítésekor szakirodalmi publikációkat vettem alapul (HALMOS et al., 2018; LU et al., 2018; OZOLA és STRAUMITE, 2012; MAJOR, 2008, CSAPÓNÉ és PÉNTEK, 2018). Azokat a témaköröket tartottam meg, melyekre a szekunder kutatás során nem találtam információt, vagy naprakészebb adatra volt szükség. Végül 14 kérdést 5 különböző témakör szerint csoportosítottam: (1) személyes adatok és a diéta oka, (2)

gluténmentes diéta hossza és más egészségügyi problémák, (3) kenyérfogyasztási szokások, (4) elégedettség, problémák feltárása és prioritizálása, (5) fogyasztói trendek (6. melléklet).

Az elégedettségi szint meghatározáshoz 10 pontos Likert skálát használtam, ahol 0 pont az „abszolút elégedetlen”, és 10 pont az „abszolút elégedett” jelentéssel bírt. A kérdések többsége zárt kérdés volt, ahol a válaszadó kettő vagy több választási lehetőség közül választhatott. Nyitott kérdést a 4. szekcióban használtam a problémák minél pontosabb feltárásának érdekében, valamint ha a kitöltő az „egyéb” választ jelölte (például a társuló egészségügyi problémáknál).

3.1.2. A mintanagyság meghatározása

A statisztikai kiértékeléshez és konzekvens eredmények levezetéséhez megfelelő mintanagyság meghatározásához a kérdőíves megkérdezéses módszernél gyakran használt Yamane formulát alkalmaztam (HALMOS et al., 2018):

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2}$$

Ahol:

- n: minta nagysága
- N: populáció nagysága
- e: hibahatár

A hibahatárnál 95%-os konfidencia szintet vettem alapul, így az e értéke 0.05. A populáció nagyságának meghatározására egy becslést alkalmaztam. Mivel nem ismert pontos adat arra vonatkozóan, hogy a lakosság hány százaléka követ gluténmentes étrendet (ismert egészségügyi vagy egyéb okokból), ezért az alábbi adatokat vettem alapul: Magyarország lakosságának száma (hozzávetőlegesen 10 millió), coeliakiás emberek száma (2%), NCGS-ben érintett lakosok száma (10%), búzaallergiások száma (8%). Ugyan az NSCG eddig publikált epidemiológiai adatait érintő becslések tág határok között mozognak (0.6 - 13%), és szignifikánsan módosíthatják az eredményt, az érintett populáció – a legrosszabb esetet feltételezve – akár összesen 2 millió főt is jelenthet, ezért ezt az eredményt használtam a továbbiakban.

A végeredményül kapott 399.92-t felkerekítve 400 főben határoztam meg azt a minimum mintanagyságot, ahány embernek legalább ki kell töltenie a kérdőívet.

3.1.3. A primer kutatás végrehajtása

A kérdőív szerkezetének, hosszának és kérdéseinek ellenőrzése céljából elsőként egy fókuszcsoportos interjút hajtottam végre 15 fős csoporttal. Az interjú során kapott válaszok és visszajelzések alapján pontosítottam a kérdéseket valamint a válaszadási lehetőségeket, és a kiértékelhetőség szempontjait figyelembe véve véglegesítettem a kérdőívet.

A kérdőív létrehozásához korábbi publikációkat alapul véve (HALMOS et al., 2018; LU et al., 2018) a surveymonkey platformot használtam (www.surveymonkey.com), és a legnagyobb magyar gluténmentes termékekkel és receptekkel foglalkozó Facebook csoportban (Gluténmentes konyha és lisztérzékeny hétköznapiak) tettem közzé, melynek kifejezett célja a gluténmentes termékek, receptek gyűjtése és megosztása, valamint a tagok segítése minden ehhez kapcsolódó kérdésben. A csoport tagjainak száma a kérdőív közzétételének időpontjában több mint 100.000 volt, így lehetőséget biztosítva arra, hogy minimum 400 fő választ adjon.

A kitöltők között nem volt limit életkorra, lakóhelyre vagy bevételre vonatkozóan, hiszen a gluténmentes diéta követése nem csak egy korosztályt érint, valamint nem lakókörnyezethez és bevételhez kötött. A kitöltésre 2 hét állt rendelkezésre, a GDPR jogszabályi elveket és előírásokat figyelembe véve önkéntes és anonim volt, a kitöltők személyazonossága nem visszakövethető. Az eredmények statisztikai kiértékeléséhez IBM SPSS Statistics 25.0.2.2 szoftvert használtam.

3.2. Farinográfós vizsgálatok

Farinográfós módszerrel vizsgáltam különböző, kereskedelmi forgalomban kapható gluténmentes lisztkeverékeket, (SLUKOVÁ et al., 2017; GIRI és SAKHALE, 2021; BEITANE et al., 2015; LAZARIDOU et al., 2007), illetve vizsgáltam a hidrokolloidok hatását a TAC kenyérlisztekben: a HPMC és a xantán külön-külön, illetve egyidejű használata milyen hatást mutat a farinogram különböző szakaszaira (BEITANE et al., 2015), valamint hogy mekkora mennyiségben érdemes adagolni a hidrokolloidokat. Az eredmények alapján felállítható egy matematikai modell, mely segítségével predesztinálható különböző, több komponensű keverékek farinográfós görbéje.

A méréskor az alábbi beállításokat alkalmaztam: sebesség: 63 rpm, hőmérséklet: 30°C (FARKAS et al., 2021). A mérés során a tészta nedvességtartalmát vettem azonosnak minden minta esetében (14%), és ennek megfelelően történt a vízadagolás. Cél volt az 500 ± 20 FU konzisztencia elérése, illetve a legkisebb ellágyulás és/vagy hosszú ideig tartó stabilitás elérése. A farinogram kiértékelésekor a következő adatokat vettem figyelembe a 13. ábra alapján:

- Konzisztencia: a farinográfban meghatározott állandó sebességgel dagasztott tészta ellenállása (FU mértékben kifejezve, ahol célérték az 500 FU).
- Vízfelvevőképesség: az a vízmennyiség, amivel rögzített körülmények között a konzisztencia maximumát 500 ± 20 FU értékre lehet állítani.
- Tészta kialakulási idő: az az idő, ami a vízadagolás kezdetétől a tészta konzisztencia maximumának, vagyis a minimális mobilitásnak a kialakulása között eltelik, tehát közvetlenül a gyengülést jelző első pont eléréséig. Ha a görbe csúcsa több percen át lapos, a csúcs értékét a görbe középvonalából alkotott ív felső pontjánál állapíthatjuk meg.
- Stabilitás: az az időtartam, ami attól a pillanattól indul, amikor a farinogram felső szegélye az 500 FU vonalat eléri (duzzadási idő) és akkor fejeződik be, amikor a görbe felső szegélye az 500 FU vonalat elhagyja (ellágyulási idő). Ez az idő általában jelzi a tészta toleranciáját, dagasztás tűrését.
- Ellágyulás: a maximális konzisztencia érték és a 15. percben vett érték különbsége. A stabilitás növekvésével az ellágyulási fok csökken.

3.2.1. Kereskedelmi forgalomban kapható lisztkeverékek vizsgálata

A Magyarországon kereskedelmi forgalomban kapható leggyakrabban használt gluténmentes lisztkeverékek közül 12 terméket választottam ki, melyeket bevontam a farinográfos vizsgálat körébe. A minták mindegyikét a csomagoláson található megnevezés vagy leírás alapján kifejezetten gluténmentes kenyér készítéséhez javasolták. A minták kiválasztásához a Táplálékallergia Centrum eladási adatait valamint a témához köthető korábbi piackutatás eredményét vettem alapul (CSAPÓNÉ és PÉNTEK, 2018, TÉGLÁSY, 2017). A mérések során használt kereskedelmi forgalomban kapható gluténmentes lisztkeverékeket a Táplálékallergia Centumból vagy közvetlenül a gyártók webáruházából szereztem be. A kereskedelmi minták összetételét valamint tápérték adatait az 1. táblázat tartalmazza. A méréseknél referenciaként illetve kontrollként használt búzalisztként a Gyermelyi Zrt. által gyártott BL-80 búzakenyérliszt termékét használtam (C_{BL}), míg rizsliszt esetében a Nagykun Zrt. rizslisztjét (C_{RL}).

1. táblázat: Vizsgált lisztek összetevői és tápérték adatai 100 g termékre vonatkoztatva (CH: szénhidrát)

Minta	Összetevők	CH	Fehérje	Rost	Zsír
C_{BL}	Búzaliszt	70	10	3.6	1
C_{RL}	Rizsliszt	79	6.9	0.1	0.6

1	Kukoricakeményítő, tápiókaliszt, rizsliszt, rostok, HPMC, guar gumi	71	1	12	0.2
2	Kukoricakeményítő, rizsliszt, lupin fehérje, rostok, HPMC, cukor	77	3.7	6.1	1.1
3	Rizsliszt, burgonyakeményítő, HPMC, szentjánoskenyérmag liszt, emulgeátorok	82	3.6	3.1	1.1
4	Kukoricakeményítő, rizsliszt, burgonyapehely, guar gumi	80	3.2	1.2	0.2
5	Kukoricakeményítő, cukor, guar gumi, HPMC, szódabikarbóna	85	0.5	2.8	0.6
6	Rizsliszt, tápiókaliszt, burgonyaliszt, xanthan gumi	79.9	4.8	1.1	0.7
7	Kukoricakeményítő, szójaliszt, guar gumi, szója lecitin	71	4.6	0.8	4.9
8	Kukoricakeményítő, kukoricaliszt, burgonyapehely, só	81.7	1.8	1.5	0.35
9	Kukoricaliszt, rizsliszt, tápióka keményítő, rostok, guar gumi, HPMC, élesztőkivonat	85.7	1.8	1.9	0.9
10	Kukoricakeményítő, tápiókaliszt, rizsliszt, rostok, HPMC, borsófehérje, szódabikarbóna	73	1.5	9.2	0.3
11	Rizsliszt, burgonyakeményítő, kukoricakeményítő, kölesliszt, guar gumi	87.5	2.4	1	2
12	Kölesliszt, tápióka keményítő, szódabikarbóna, citromsav	65.2	6.5	13.7	1.9

3.3. Próbasütés

A különböző gluténmentes lisztkeverékekből sütési próbát végeztem és a kenyerek térfogatát mértem. Mivel a piacon kapható gluténmentes lisztkeverékek reológiai tulajdonságainak vizsgálatakor és az azt követő sütési próba során nagymértékben különböző összetételű termékekkel kellett dolgoznom, ezért a sütési próba során két különböző elkészítési módszerrel készítettem a kenyereket. Az első körben standardizált receptet használtam minden kenyérhez (2. táblázat), míg a második körben a gyártó által javasolt, a termék csomagolásán található egyedi receptet követtem (3. táblázat). A sütési próbát minden esetben ötször ismételt meg, majd a térfogatok átlag és szórás eredményeit felhasználva T-próbával hasonlítottam össze őket. Az

elkészült kenyerek térfogatának meghatározáshoz térfogat-kiszorításos módszert alkalmaztam (AACC-10-05.01).

2. táblázat: Standardizált recept

Liszt (g)	Víz (g)	Élesztő (g)	Olaj (g)	Cukor (g)	Só (g)	Kelesztés (min)
250	150	8	15	5	3	30

A 3. táblázatban szereplő egyedi receptekkel kapcsolatban fontos megemlíteni, hogy a 12-es mintánál a gyártói javaslatot követve 30g citromlevet adagoltam a jelölt vízmennyiség mellett, valamint a 8-as mintánál nem volt kelesztés (a gyártói leírásnak megfelelően).

3. táblázat: A minták gyártói javaslata az elkészítésre

Minta	Liszt (g)	Víz (g)	Élesztő (g)	Olaj (g)	Cukor (g)	Só (g)	Kelesztés (min)
C _{BL}	250	150	8	15	5	3	30
C _{RL}	250	350	21	15	5	3	45
1	250	250	8	15	5	3	30
2	250	200	8	5	5	2.5	30
3	250	250	10	15	5	3	35
4	250	300	15	10	5	3	35
5	250	250	20	10	5	2	35
6	250	250	25	10	5	3	35
7	250	200	21	15	5	3	30
8	250	300	30	15	5	3	0
9	250	210	15	15	3	2.5	45
10	250	250	25	15	5	2.5	30
11	250	300	5	10	5	2.5	45
12	250	280	0	2	0	3	10

Minden kenyérminta esetén a következő alapanyagokat használtam fel: lisztkeverék, csapvíz, napraforgó olaj (Vénusz, Bunge Zrt.), élesztő (*Saccharomices cerevisiae*, Budafoki élesztő, Lesaffre Magyarország Kft.), cukor az élesztő felfuttatásához (Koronás kristálycukor, Magyar Cukor Zrt.) valamint étkezési finom só (Compex Só Kft.).

A próbasütés során azonos kenyérformákat és sütőt használtam. Először az élesztőt elkevertem a 32°C-os cukros vízzel, amit egy zárható edényben hagytam 10 percig. Az élesztő

aktiválása után a kimért liszthez kevertem az élesztőt, a vizet, az olajat majd végül a sót. A mintákat kézzel dagasztottam 5 percig, majd 35°C-ra előmelegített térben kelesztettem az elkészítési leírásban szereplő ideig. A kelesztést követően 210°C-on 35 percig sütöttem a kenyereket. A sütést követően a kenyereket hűlni hagytam, kivettem a formából és szobahőmérsékleten egy zárt térben tároltam. A térfogatmérést másnap végeztem el.

3.4. A termékfejlesztéshez felhasznált anyagok

A kísérletek során illetve a termékfejlesztéshez használt hidrokolloidok (HPMC és xantán), pszeudocereáliák és gluténmentes lisztkeverékek ismertek voltak a Táplálékallergia Centrum (TAC) számára, ők állítják elő és/vagy forgalmazzák azokat (4. táblázat). Minden felhasznált alapanyag gluténmentes, melyet akkreditált laborvizsgálat igazol.

4. táblázat: A felhasznált alapanyagok és forrásuk

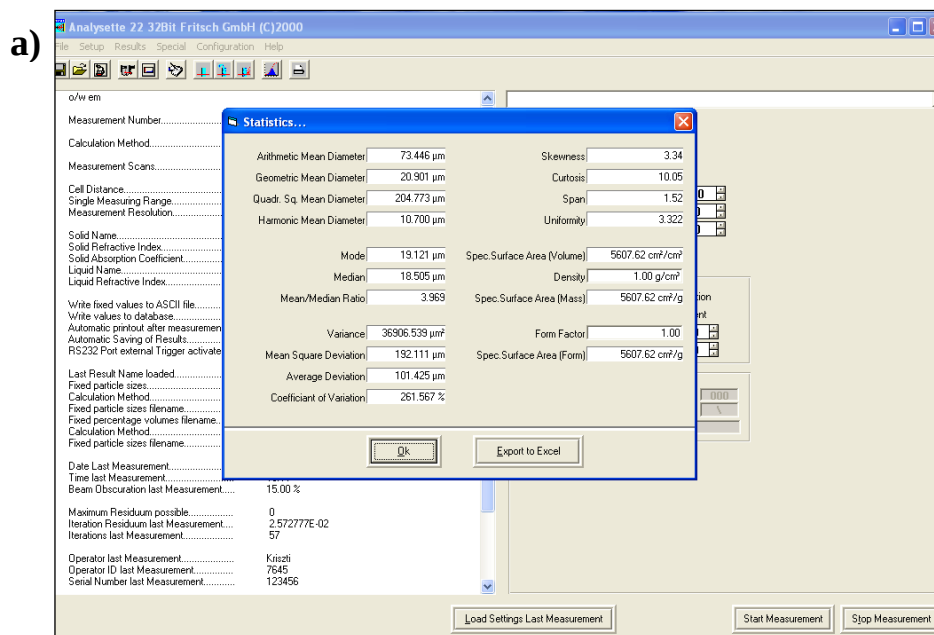
Alapanyag	Forrás
TAC kenyérliszt (hozzáadott hidrokolloid nélkül)	Tóth-Rabóczki Kft.
Hajdinaliszt (<i>Fagopyrum esculentum</i>)	Glutenex
Amarantliszt (<i>Amaranthus spp.</i>)	Glutenex
Xantán	Tóth-Rabóczki Kft.
HPMC	Tóth-Rabóczki Kft.
Élesztő (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>)	Lesaffre Magyarország Kft.
Napraforgó olaj	Bunge Zrt.
Só	Compex Só Kft.
Kristálycukor	Magyar Cukor Zrt.

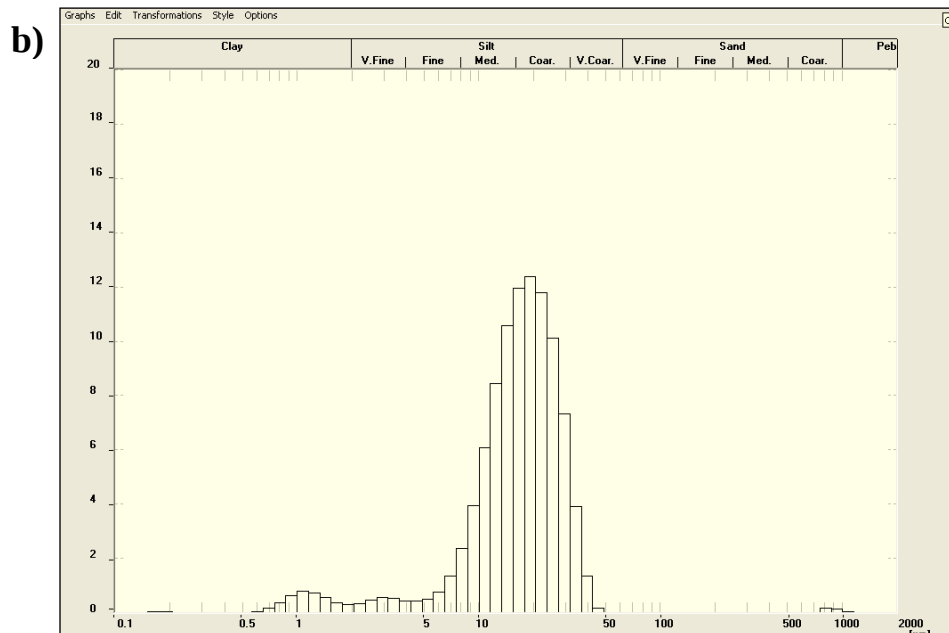
A TAC kenyérliszt fehérkenyér készítésére alkalmas, de a dolgozatomban vizsgáltam a barnakenyér készítéséhez alkalmas lisztkeveréket is. Előzetes kísérletként érzékszervi vizsgálatot végeztem pszeudocereáliákból egyre növekvő mennyiséget tartalmazó kenyerekkel, és ezek alapján határoztam meg a hozzáadott hajdina- és amarantliszt arányát. Az eredmények alapján 1% amarantlisztet és 5% hajdinalisztet adtam az alap TAC lisztkeverékhez, így létrehozva a második lisztkeveréket amit a mérésekhez használtam (a továbbiakban barnakenyér lisztkeverék). Így végül két lisztkeveréket használtam a munkám során: fehérkenyér lisztkeverék (TAC kenyérliszt) és barnakenyér lisztkeverék (pszeudocereáliákkal kiegészített TAC kenyérliszt).

3.5. Szemcseméret és eloszlásának meghatározása

Lisztek és lisztkeverékek esetében a szemcseméretnek jelentős hatása van a vízfelvételre, a térszta kialakulására, valamint annak feldolgozhatóságára, reológiai tulajdonságaira (BRESIANI et al., 2019, LIN et al., 2020b, COTOVANU et al., 2020).

Fritsch Analysette 22 (Fritsch GmbH, Németország) típusú lézerdiffrakciós elven működő berendezés segítségével vizsgáltam a TAC kenyérliszt keményítő frakcióit (kukoricakeményítő, tápiókakeményítő) és a pszeudocereália lisztek (hajdina és amarantliszt) szemcseméretét illetve annak eloszlásait. A készülék működése során a hélium-neon lézersugár elhajlásának elvén méri a szemcseösszetételt. A mérendő részecskékre a berendezés lézersugarat irányít, melynek részleges elhajlása jellegzetes, gyűrű formájú intenzitás elosztást eredményez a minta mögött, ami egy speciális detektorral mérhetővé válik. A mérések előtt a készülékhez tartozó, üvegből készült 100 ml-es diszperziós egységbe töltött desztillált vízzel kalibráltam a készüléket, majd automata pipetta segítségével bemértem a szükséges mennyiségű mintát. A szükséges mennyiség mértéke függ az adott minta összetételétől és koncentrációjától, amit a készülékhez tartozó szoftver segítségével lehet nyomon követni. A kukoricakeményítő, borsófehérje, bambuszrost és a különböző lisztminták szuszpenzióit desztillált vizes közegben mértem folyamatos kevertetés mellett 0,1-2000 μm mérettartományban. A mérési eredményeket és ábrákat a készülékhez tartozó Laser Particle Sizer program segítségével mentettem el és dolgoztam fel (22. ábra).





22. ábra: Szemcseméret (a) és eloszlás (b) ábrázolás Laser Particle Sizer program segítségével

3.6. Optimalizálás

Munkám során TAC kenyérliszteket (fehérkenyér és barnakenyér lisztkeverék) használtam, melyeket erre a célra készültek hozzáadott hidrokolloid nélkül. Az ezekhez a keverékhez adott hidrokolloidok, pontosabban a HPMC és a xantán optimális keverési arányát kerestem. A Statistica (Tibco Statistica, California, USA) program segítségével a megadott anyagok minimális és maximális mennyiségének megadásával Design of Experiment (DoE) 3^2 -n teljes faktoros kísérlettervet készítettem (3 szint, 2 faktor), külön mindkét alapként használt TAC kenyérliszt keverékre (fehérkenyérhez és barnakenyérhez). A lisztkeverékek vízfelvételét farinográffal vizsgáltam meg úgy, hogy a maximális konzisztenciát és stabilitást ériék el a keverékek (FARKAS et al., 2021). Függő változóként szerepelt a téstakialakulás idő, a stabilitás ideje, az ellágyulás és a maximális konzisztencia, míg független változókként a HPMC és a xantán. A farinográfos méréseket mintánként háromszor ismételt meg. Az alkalmazott hidrokolloidok min-max értékeinek meghatározásához szakirodalmi publikációkat vettem alapul, melynek eredményeként 0-3%-ban határoztam meg azokat (LAZARIDOU et al., 2007, SAHIN et al., 2020, HORSTMANN et al., 2018).

A DoE-ben szereplő keverékek farinográfos vizsgálatokkal kapott eredményeit (4.3. fejezet) Statistica program segítségével vizsgáltam, a statisztikai eredményekből táblázatokat készítettem, valamint a függő és független változókhoz tartozó modelleket vizuálisan ábrázoltam. A modellek

illeszkedését regressziós számítással (R^2) vizsgáltam. Méréseim során lineáris és nem lineáris modelleket is vizsgáltam a kapott eredményektől függően.

Az optimalizálási kísérlet végén kapott keveréket használtam tovább, és az ebből készült kenyereket használtam a dolgozat további méréseinél (próbasütés, reológia, érzékszervi minősítés).

3.7. Próbasütés az optimalizált lisztkeverékekből

Az optimalizálás után kapott lisztkeverékekből három fajta terméket készítettem: gluténmentes fehérkenyeret, gluténmentes barnakenyeret és gluténmentes parasztkenyeret. A lisztkeverékekhez az 5. táblázatban szereplő anyagokat adtam.

5. táblázat: A kenyérsütéshez felhasznált anyagok

Alapanyag	Forrás	Mennyiség
Csapvíz	Vezetékes ivóvíz, Budapest	250 ml
Lisztkeverék	Optimalizált lisztkeverékek	250 g
Élesztő (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>)	Lesaffre Magyarország Kft.	8 g
Napraforgó olaj	Bunge Zrt.	20 ml
Só	Compex Só Kft.	8 g
Kristálycukor	Magyar Cukor Zrt.	8 g

A kenyérsütés módszer szerint mindig azonos volt: a langyos (32°C) vízhez hozzáadtam a cukrot, majd az élesztőt. Az edényt lezártam, és felfuttattam az élesztőt. A lisztkeverékhez hozzáadtam a sót, majd alapos keverés után a napraforgó olajat. Közvetlenül ezután hozzáadtam a keverékhez a felfuttatott élesztőt, majd kézi dagasztással 5 percen keresztül készítettem a tésztát, amíg az el nem vált az edény falától. A tésztát ezt követően 35°C -ra előmelegített térben kelesztettem 25 percig. A kelesztést követően előmelegített sütőben 200°C -on 30 percig sütöttem a kenyereket. A sütést követően a kenyereket hűlni hagytam szobahőmérsékleten, kivettem a formából és szobahőmérsékleten, napfénytől védett helyen, műanyag zacskóban tároltam további felhasználásig.

A gluténmentes fehér- valamint barnakenyér kenyérformában készült téglatest formájú, míg a parasztkenyér kézi formázással/vetéssel készített cipó formájú termék. A parasztkenyér készítésekor a kelesztést újabb átgyúrás és további 10 perces kelesztés követte a sütés megkezdése előtt.

3.8. Reológiai mérés TPA módszerrel

A kenyérbélzet reológiai mérésére régebben elasztigráfot alkalmaztak, de ez a módszer a mai kenyereknél már nem alkalmazható, mert a bélzet állaga sokkal puhább, lágyabb. Ezért méréseim alapjául a 2.5.1.-es fejezetben már ismertetett publikációk eredményeit, valamint MERETEI (2012) doktori dolgozatát vettem alapul. Utóbbi témaköre a kenyérbélzet állományjelzőinek meghatározása volt, melynek során új kompressziós mérési módszer került kidolgozásra: új minta előkészítési eljárás, az alkalmazott kompressziós sebesség meghatározása és a mérési módszer alkalmazhatósága (MERETEI, 2012). Meretei módszerének megbízhatóságát és megfelelőségét igazolja, hogy a módszer szoros összefüggést ($R^2 = 0,8-0,92$) mutat a teljes és plasztikus deformáció valamint a relatív rugalmasság és a nemzetközi gyakorlatban elfogadott és alkalmazott American Institute of Baking (AIB) szabvány alkalmazásával kapott keménység értékek között. Ezen kívül szintén szoros összefüggést (R^2 értéke 0,66 és 0,92 közötti) mutatott a teljes és plasztikus deformáció, valamint a relatív rugalmasság és a nemzetközi gyakorlatban elfogadott és alkalmazott TPA-val kapott keménység, kohézió, rágási ellenállás és rágáshoz szükséges energia értékei között (MERETEI, 2012).

Ezen okok miatt az ott alkalmazott paraméterek használatával Stable Micro System TA.XT2 berendezéssel végeztem a méréseimet az alábbi beállításokkal:

- mérési mód: relaxációs
- mérőfej sebessége a mérés során: 0.2 mm/s
- mérőfej sebessége a mérés előtt és után: 2 mm/s
- mérőfej: A/BE35 35 mm átmérőjű plexi korong
- mérés ideje: 60 s
- tehermentesítés ideje: 60 s
- terhelő erő: 5 N
- minta magassága: 15 mm
- minta átmérője: 35 mm
- mintavételezés: 200 mérés/s

Az eredményül kapott diagramról leolvashatóvá vált a minta keménysége, kohéziója és rugalmassága. A MERETEI által kidolgozott eljárás (2012) nem gluténmentes kenyérminták felhasználásával készült, ezért a munkám egyik fontos eleme ezen módszer alkalmazhatóságának vizsgálata gluténmentes kenyerek esetén, és szükség esetén a beállítási paraméterek felülvizsgálata. Ezen kívül a keménység, kohézió és rugalmasság értékeit nem vetették össze

érzékszervi minősítés során kapott szubjektív és objektív jellemzőkkel, melynek pótlása különösen fontos szerepet tölthet be a jelenleg kihívást jelentő gluténmentes kenyerek fejlesztésekor.

A TPA mérések során a dolgozatban leírtak alapján fejlesztett lisztkeverékekből készült gluténmentes kenyérmintákat (fehér formakenyér, barna formakenyér, parasztkenyér) használtam. Referencia termékként kereskedelmi forgalomban kapható, tartósítószer és védőgázos csomagolás nélküli búzaliszt alapú termékeket választottam. Parasztkenyér esetében a Ceres Bükki parasztkenyeret (Ceres Zrt., Magyarország), fehér formakenyér esetében a Ceres Sütő Vajas Toast kenyeret (Ceres Zrt., Magyarország), barnakenyér esetében pedig Roberto Teljes kiőrlésű szeletelt kenyeret (Roberto Industria Alimentare, Olaszország). Minden kenyérmintából 7 szelet került mérésre a tárolási kísérlet minden napján, egy addig bontatlan csomagolásból. A kenyérminták egyike sem tartalmazott tartósítószer, módosított légterű vagy aktív csomagolást.

3.9. Porozitás meghatározása

Gluténmentes termékek esetén kihívást jelentő terület a termék megfelelő porozitása. Mivel a gluténmentes termékekben a kenyértészta szerkezete gyengébb, ezért a képződő pórusok mérete gyakran nagyobb a búzalisztes termékekhez képest. Ez hatással lehet a reológiai mérések eredményére, valamint a fogyasztói kedveltségre is (AZIZI et al., 2020; MELINI et al., 2017).

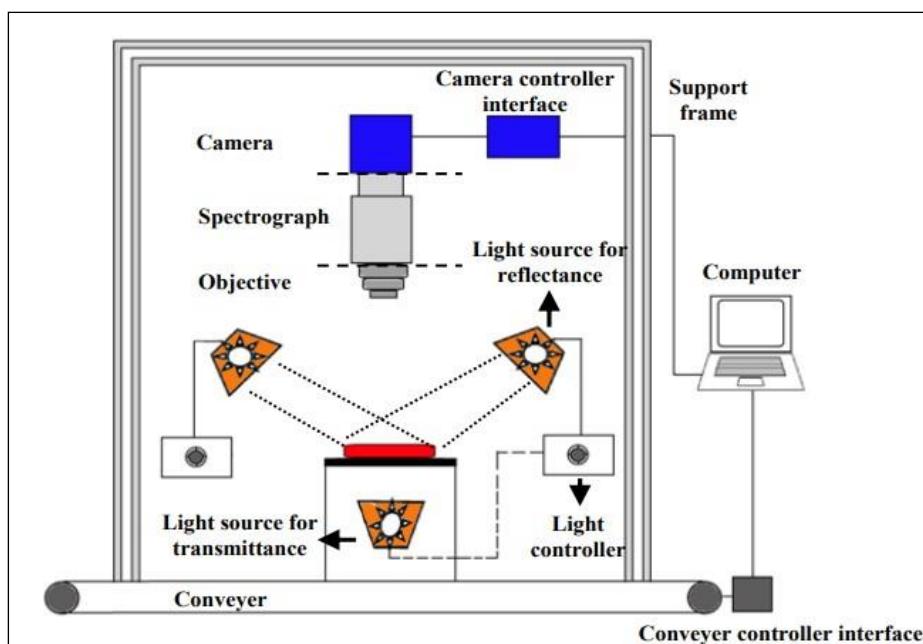
A megfelelő következtetések levonásához meg kell határozni a standardként használt búzalisztes, valamint a gluténmentes minták porozitását. Ehhez a nemzetközi szakirodalomban is gyakran megjelenő képfeldolgozási rendszert használtam. A kenyérszeletekről egy asztali szkennel segítségével (Kyocera M3645dn) digitális képeket készítettem 600 dpi felbontásban. Az átlagos pórusméret (pixel) és a pórus területek százalékos arányának meghatározása (a teljes vizsgált felülethez viszonyítva egy 20x20 mm-es képkivágás a kenyérszelet közepénél) az ImageJ program (v. 1.41, Wayne Rasband, National Institute of Health, USA) segítségével történt (PHONGTHAI et al., 2016, NÉMETH et al., 2019).

3.10. Hiperspektrális mérés

A hiperspektrális képalkotási módszer (Hyperspectral Imaging, HSI) egy modern képviselője az optikai hullámhossz tartományban végzett reflektancia spektroszkópiának, pontosabban annak kiterjesztése a passzív, képalkotó távérzékelésre (SZALAY, 2014). A módszert egyaránt alkalmazzák élelmiszeriparban, gyógyszeriparban és anyagtudományi kutatásokban (NGADI et al., 2014). A digitális kép rögzítése sok, szomszédos spektrális csatornán

történik egy időben. A letapogatás során a rendszer a felszínről a szenzor fényérzékeny felületére egységnyi térszögből beérkező sugárzás fluxusát méri több száz szomszédos csatornán, melynek eredményeként szürkeárnyaltos képek készülnek a felszínről (23. ábra). Ez a felvételezési módszer az úgynevezett hiperspektrális adatkockát eredményezi, ahol az adatkocka minden képpontjához nagyfelbontású spektrális információ tartozik (SZALAY, 2014; NGADI et al., 2014; LIN et al., 2020a).

A HSI alkalmazásának előnyei közé tartozik, hogy roncsolásmentes, valós idejű, alkalmazása olcsó, digitális és reprodukálható. A HSI kiválóan alkalmas a vizsgált élelmiszer spektrális és térbeli tulajdonságainak gyűjtésére 300-2600 nm hullámhossz tartományban (NGADI et al., 2014). A módszert egyaránt alkalmazzák húsok, gyümölcsök, zöldségek és gabonafélék vizsgálatára is. LIN és munkatársai (2020a) gyömbérszeletek hidratációját, vízeloszlását és száradását követték nyomon HSI segítségével. Mivel kenyér retrogradációjának hiperspektrális vizsgálatáról még nem született publikáció, ezért LIN munkáját (2020a) és a hasonló HSI méréseket végző PARRAG (2020) doktori dolgozatát vettem alapul a kísérlet felépítésekor.



23. ábra: Hiperspektrális képalkotó rendszer (NGADI et al., 2014)

3.10.1. Hiperspektrális mérés felépítése

A mintaelőkészítés során a kenyerekből 12 mm vastagságú szeleteket vágtam iparilag is használt kenyérszeletelő géppel, és a méréshez a vágási felületüket használtam. A kenyereket az otthoni tárolási körülményeket pontosan követő módon tartottam letakarva szobahőmérsékleten 4

napig. A terem hőmérsékletét digitális hőmérővel ellenőriztem, melynek adatait elektronikusan rögzítettem. A méréseket naponta végeztem ugyanabban az időpontban minden kenyérminta esetén.

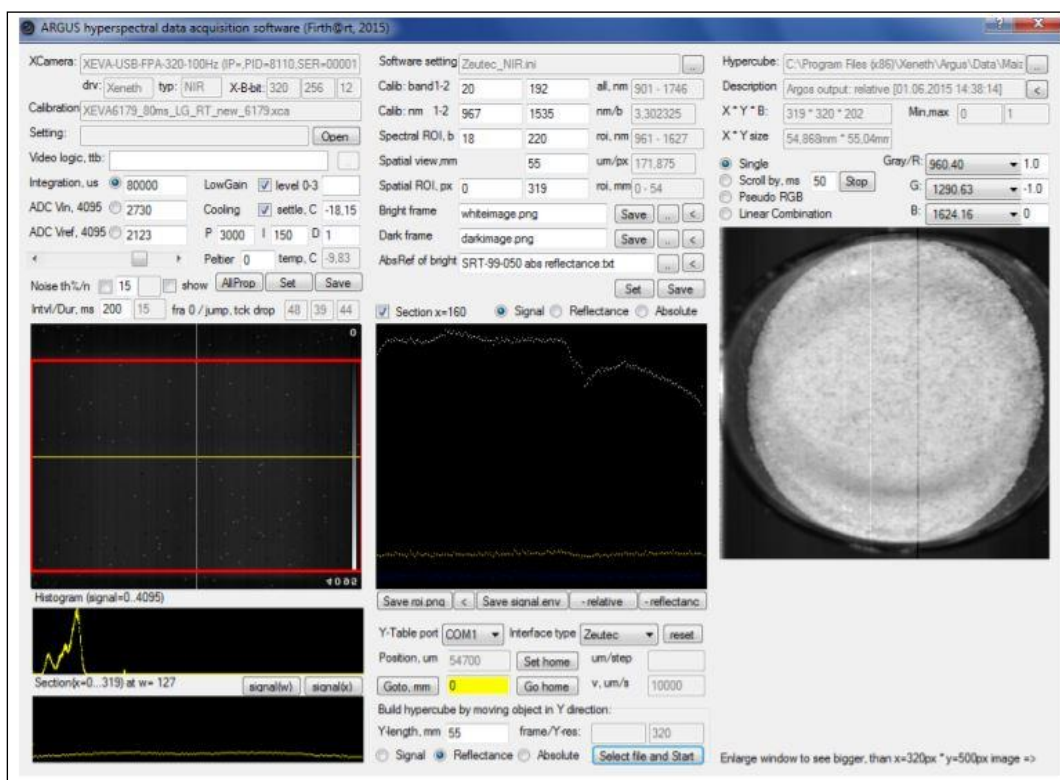
A mérés célja a kenyérszeletek nedvességtartalmának becslése, eloszlásának megállapítása és monitorozása tárolás során. A méréseket a Magyar Agár- és Élettudományi Egyetem Élelmiszertudományi Karán, a Fizika Automatika Tanszéken végeztem az itt található Headwall Photonics XEVA-1648 XC134 (Specim spectrograph, Xeneth InGaAs) berendezéssel (24. ábra).

A HSI vizsgálat push-broom módszerrel 900-1700 nm közötti NIR tartományban végezte a mérést 5 nm léptéknöveléssel, amely 208 spektrális sáv felvételét eredményezte. A rendszer Specim spektrográffal rendelkezik, melyben Xeneth 14 bites szenzor működik, a szenzor-mátrix indium-gallium-arzenid (InGaAs), spektrális felbontása 256 px, térbeli felbontása 320 px, az alkalmazott beállításokkal a spektrális felbontás 5 nm, a térbeli felbontás pedig 0,475 mm volt. A kamera lencséje és a minta közötti távolság minden esetben 48 cm, a képfelvétel hossza a kenyérszeletek hosszától függően 12 cm vagy 20 cm, a műszer által beállítható maximum volt.



24. ábra: Headwall Photonics hiperspektrális képfeldolgozó rendszer (Forrás: Headwall Photonics)

A Tanszéken fejlesztett Argus szoftver (FIRTHA, 2011) segítségével végeztem a berendezés, a hiperspektrális képfeldolgozó rendszer, a léptetőmotorok és a szenzorok vezérlését (25. ábra). A spektrális egyenetlenségek kiküszöböléséhez a mérések kezdete előtt világos (NCS 0300) és sötét standardok képét rögzítettem, melyek alapján a mérési adatokból számolható a relatív reflektancia.



25. ábra: Az Argus program kezelőfelülete (PARRAG, 2020)

3.10.2. Nyers adatok előkezelése

A HSI berendezéssel hiperkockába rögzített térbeli és spektrális adatok, azaz a hiperspektrális képek szegmentálását CuBrowser-rel végeztem (FIRTHA és ÉDER, 2012). A kenyerek tárolása során bekövetkező spektrális változások nyomon követéséhez a kenyerekről készült képekre manuálisan pozícionált jelölőkkel négy darab 400 pixel (20x20) nagyságú területet jelöltem ki, és az ezekhez a képpontokhoz tartozó 400 spektrumot exportáltam (26. ábra).

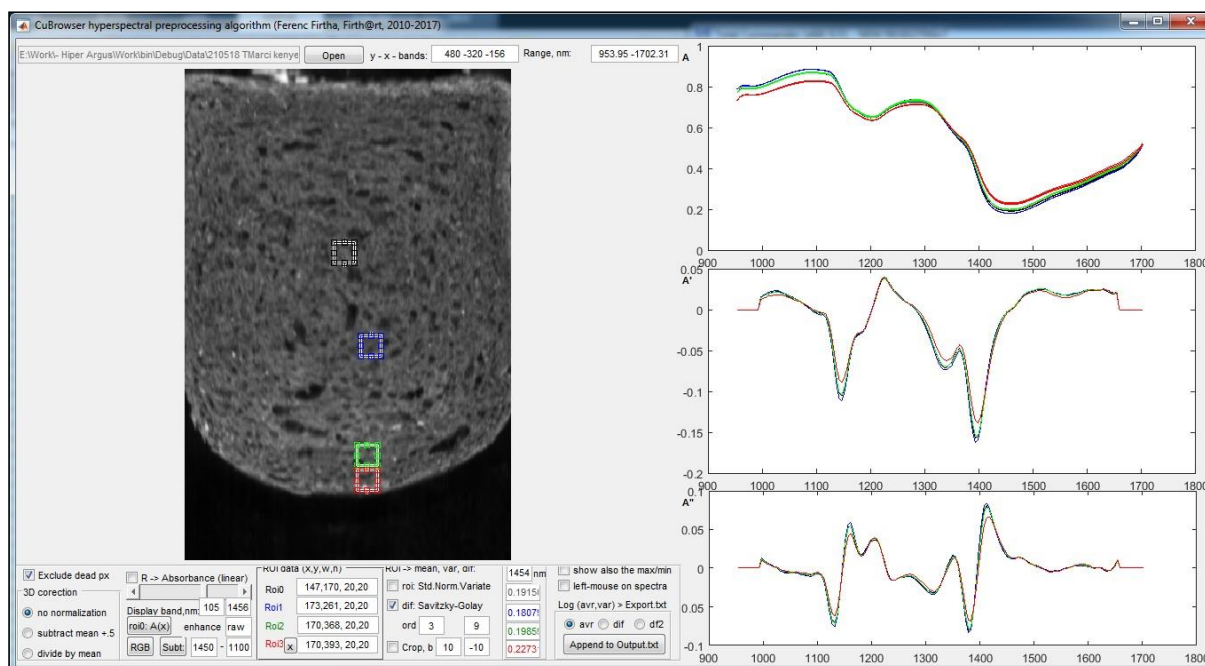
Az eredmények vizsgálatához a mérőrendszer által rögzített reflektancia értékekből az alábbi összefüggésnek megfelelően abszorbanciát számoltam, ezt követően többváltozós adatelemzést alkalmaztam:

$$A = \lg \frac{1}{R} \quad (1)$$

R – Reflektancia

A – Abszorbancia

A hat kenyértípusnál és a négy tárolási nappal összesen 9600 (6x4x400) spektrumot értékeltem ki a továbbiakban.



26. ábra: Barnakenyér minta hiperspektrális képének szegmentálása CuBrowser-rel

A közepes nedvességtartalmú minták esetében – mint a kenyerek – a technika hatékonyságát korlátozhatja a vízmolekulák nagy fényelnyelése a NIR tartományban, ezért a spektrumok elemzése az aquaphotomics módszertannak megfelelően az 1300-1600 nm hullámhossz tartományban történt. Az aquaphotomics fejlődésével írták le a víz kollektív anyag- és energiatükör tulajdonságait. Az úgynevezett „víztükör megközelítés” az aquaphotomics egyik alapvető spektrumelemző és értékelő módszere (TSENKOVA, 2009). A vízmolekulák között kialakuló másodlagos kötések (pl. hidrogén-kötések) erősségét és minőségét a benne lévő vízmolekulák konformációinak megváltozását eredményezi, ami a spektrum abszorpciós mintázatának változását eredményezi. Közvetett módon a módszerrel olyan szintű információk is kinyerhetők, melyek a hagyományos NIR spektroszkópiával nem lennének elérhetőek (TSENKOVA et al., 2018).

A NIR spektrumok zajcsökkentésére Savitzky-Golay simítást (sgol) alkalmaztam (harmadrendű polinom, 9 adatpont) (SAVITZKY és GOLAY, 1964). Ezt követően a statisztikai modellezések optimalizálásához különböző spektrum előkezelési eljárásokat használtam, melyeket a 6. táblázat foglal össze.

6. táblázat: Alkalmazott spektrum előkezelési eljárások

Előkezelés típusa	Rövidítés	Használat célja
Savitzky-Golay simítás	sgol-3-9-0	Spektrumok zajcsökkentése
Detrending	deTr	Polinom tendenciák megszüntetése

Többszörös szóródási korrekció	MSC	Alapvonal eltolódás mérséklése
Első derivált - 13 adatponttal	sgol-2-13-1	Konstans eltérés megszüntetése
Első derivált - 17 adatponttal	sgol-2-17-1	Konstans eltérés megszüntetése
Első derivált - 21 adatponttal	sgol-2-21-1	Konstans eltérés megszüntetése
Második derivált - 13 adatponttal	sgol-2-13-2	Konstans és lineáris eltérés megszüntetése
Második derivált - 17 adatponttal	sgol-2-17-2	Konstans és lineáris eltérés megszüntetése
Második derivált - 21 adatponttal	sgol-2-21-2	Konstans és lineáris eltérés megszüntetése
Standard normál változó	SNV	Lineáris és additív hatások korrekciója

3.10.3. Nedvesség index számítás

A kenyerek tárolása során bekövetkező száradás kimutatásához a kenyérbélzet pontjain, azaz az egyes ROI területeken rögzített abszorbanca értékek alapján nedvesség indexet számoltam (2. összefüggés). A PARRAG (2020) által bizonyított víztartalom-kapcsolat alapján az 1456 nm-nél mért abszorbanca-értéket használtam – a normálás érdekében a teljes hullámhossz-tartományon mért átlagértékhez viszonyítva – a víztartalommal összefüggő mérőszámként. Ezáltal közvetett módon kaptam információt arról, hogy arányaiban miként változott a kenyerek nedvességtartalma.

$$\text{Nedvesség index} = (A_{1456} - \bar{A}_{1300 \rightarrow 1600}) \cdot 100 \quad (2)$$

A_{1456} – 1456 nm-en rögzített abszorbanca

$\bar{A}_{1300 \rightarrow 1600}$ – 1300 és 1600 nm között rögzített átlagos abszorbanca

3.10.4. Többváltozós statisztikai elemzések

A többváltozós statisztikai elemzések első kvalitatív értékelése főkomponens elemzéssel (PCA) történt. Ez a nem felügyelt módszer a kiindulási erősen autokorreláló NIR adatokat a teljes mátrixot reprezentáló kisebb számú háttérváltozókba, főkomponensekbe (PC) tömörítette. Az úgynevezett score-ok az egyes minták spektrumainak a főkomponensek által kialakított térben való helyzetét írták le. A PCA lehetővé teszi az adatokban rejlő mintázatok és a kiugró értékek feltérképezését (DALMADI et al., 2007). A kiugró értékek kiszűrését kenyértípusonként és tárolási naponként végeztük, így a kiindulási 9600-ból 8390 spektrumot értékeltem. Az elemzések során a különböző csoportosító változók (kenyerek típusa, tárolás időtartama) és azok szintjei

alapján színeztem. Az ábrákon konfidencia ellipszisekkel jelöltem a 95%-os megbízhatósági tartományokat.

Ezt követően a minták osztályba sorolását PCA alapú lineáris diszkriminancia elemzéssel (LDA) végeztem. Az LDA felügyelt módszer, ami segítséget nyújt azon abszorpciós sávok meghatározásában, amelyekben az előre definiált csoportok között (pl. kenyerek típusa, tárolás ideje) a legnagyobb különbség mutatkozik. Ezeknél az elemzéseknél a főkomponens score-okat használtam bemenetként az LDA modellekhez. Az optimális főkomponens szám (NrPC) meghatározásához az R-alapú algoritmus az LDA modell építési és keresztvalidációs pontosságát egy előre meghatározott 30 NrPC-ig gyűjtötte és hasonlította össze. A végső modell megalkotásához azt az NrPC-t használta, ahol a kalibráció és validáció osztályozási pontossága között minimális volt a különbség, valamint a legnagyobb validációs pontosság volt jellemző. Az első osztályozó modelleket a kenyértípusok megkülönböztetésére alkottam a tárolás időtartamától függetlenül. Itt a modellek építéséhez a teljes adatsort használtam. Ez esetben az osztályváltozó a kenyértípus volt. Ezt követően a kenyértípusokra szűrtem az adattáblát és azt vizsgáltam, hogy a módszer a tárolás időtartama szerint milyen pontossággal osztályoz. A becslő modellek pontosságának teszteléséhez az adatokat training (kalibrációs) és keresztvalidációs adathalmazra osztottam. A training adatok a teljes készlet kétharmadát, a validációs adatok a maradék egyharmadot tartalmazták. Az LDA modelleket háromszoros keresztvalidációval teszteltem úgy, hogy az adatok felosztását és a modellezést egymás után háromszor végeztem el. Ez biztosította azt, hogy minden megfigyelés legalább egyszer szerepelt a kalibrálás és a validálás során. A modellépítés és a tesztelés átlagos helyes osztályba sorolását a validációs táblázatok átlagából számítottam. Az ábrákon konfidencia ellipszisekkel jelöltem a 95%-os megbízhatósági tartományokat.

PLSR-t (parciális legkisebb négyzetek regressziója) alkalmaztam a különböző kenyérbélzetek víztartalmának becslésére a NIR spektrumokból. A PLSR modelleket kenyértípusonként, előkezelt adatokra építettem. Ebben a kiértékelésben is az adatokat kalibrációs és validációs halmazokra osztottam. A PLSR modellek tesztelését 20 megfigyeléshez tartozó spektrum kihagyásával végeztem. Ezt annyiszor ismételtam, amíg minden megfigyelés legalább egyszer szerepelt a kalibrálás és a validálás során. A prediktív modellek pontosságát a kalibráció (C) és a validáció (CV) során a determinációs együttható (R^2) és az átlagos négyzetes eltérés (RMSE) adták meg.

Az eredmények kiértékeléséhez az R-project (3.6.3) szoftvert és az aquap2 bővítménycsomagot használtam (POLLNER és KOVÁCS, 2016).

3.11. Kenyérminták nedvességtartalmának meghatározása

A vizsgált kenyérminták (gluténmentes és búzaliszt alapú fehérkenyér, barnakenyér, parasztkenyér) kiindulási nedvességtartalmát, valamint annak a tárolási kísérlet alatt bekövetkező változását Kern MLB-50-3 nedvesség-meghatározó berendezés (Kern & Sohn, Németország) segítségével határoztam meg, tömegállandóságig történő szárítással. A méréshez használt minták nagysága 2g volt minden esetben. A tárolási kísérletnek megfelelően minden kenyérfajtából 4 azonos sütésből származó mintát vettem alapul, és a különböző napokon egy addig bontatlan csomagolású termékeket használtam. A tárolási kísérlet minden napján minden mintából 5 kenyérszeletet felhasználva (szeletvastagság: 12 mm) annak közepén, a szelet héjához közeli régióban és a két terület között mértem a nedvességtartalmat (a 26. ábrán látható kijelölésekhez hasonlóan). A méréseket minden szelet esetében annak közepétől a héj felé három irányban végeztem el. A mérések kenyértípushoz, tárolási időhöz és a minta helyzetéhez tartozó átlag értékeit használtam fel a további elemzésekhez.

3.12. Érzékszervi minősítés

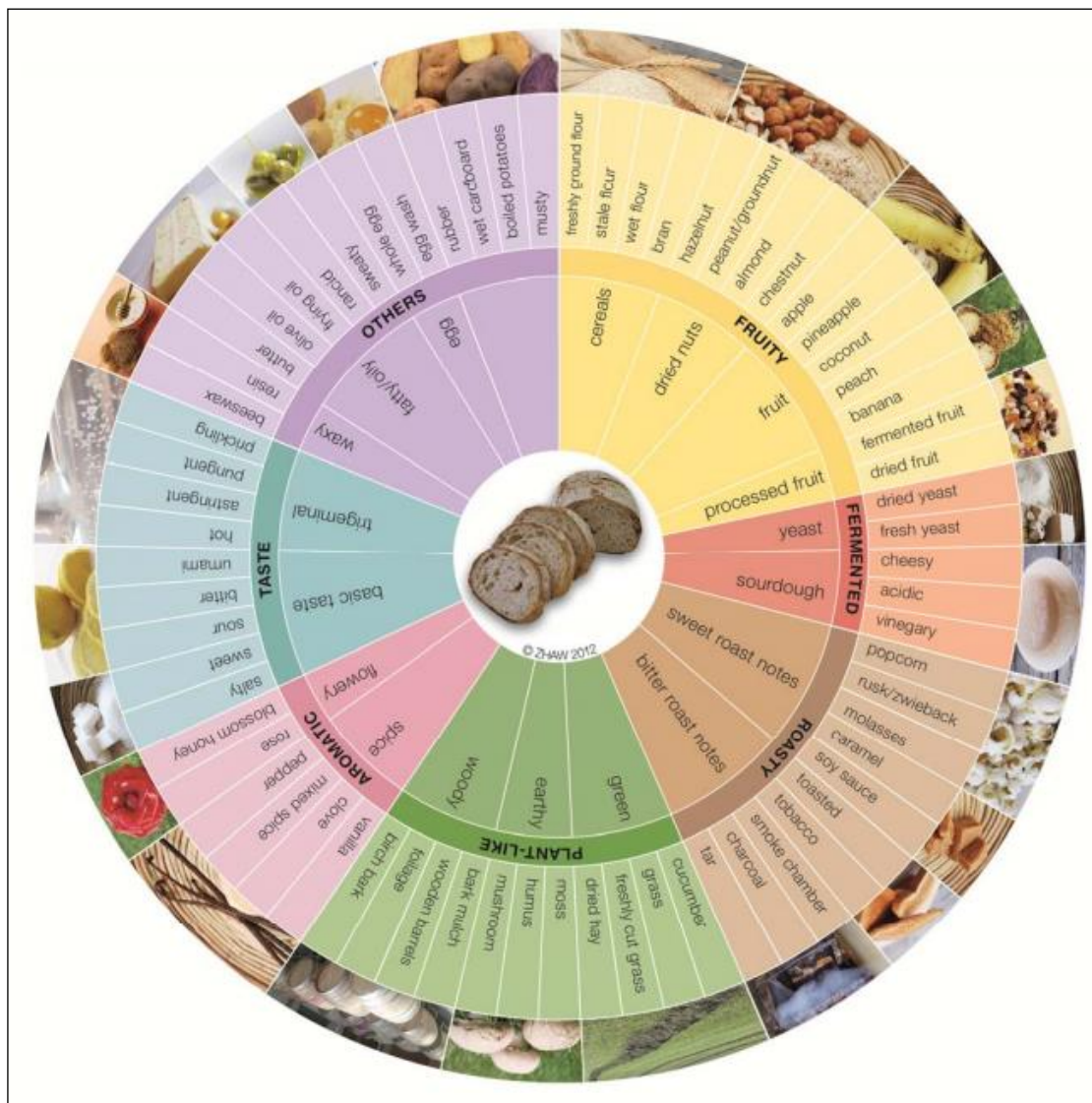
A kenyerek érzékszervi minősítési módszerének fontos alapot jelentene a kenyér-aromakerék nemzetközi publikációkban történő egységes használata (27. ábra), mely az MSZ 20501-2:2018 szabványban is megtalálható javaslatként. Az aromakerék egy termékspecifikus szótár, ami felvázolja a lehetséges érzékszervi tulajdonságokat. Ennek használatával egységessé és egyértelművé válhatna az analízis, megkönnyítve a bírálók és a termékfejlesztést végzők dolgát, mert egy közös szókincs és fogalomtár alakulhatna ki. További előnye, hogy a kenyér fajtájától függetlenül alkalmazható (búzalisztes, gluténmentes, félbarna, fehérkenyér, formakenyér, kézműves termék, stb.). A kenyér-aromakerékben található tulajdonságok átfedést mutatnak a magyar szabványban (MSZ 20501-2:2018) jelölt leíró vagy kizáró tulajdonságokkal, de annál mégis bővebb.

3.12.1. Minősítési módszer kiválasztása

Az érzékszervi minősítés során leíró vizsgálatot (profilanalízist) valamint páros összehasonlító próbát végeztem az MSZ 20501-2:2018 leírása alapján.

Profilanalízis során képzett bírálók csoportjával (10 fő) kereskedelmi forgalomban kapható gluténmentes fehér- és barnakenyér mintákat (7. táblázat) vizsgáltam az aromakerék segítségével (27. ábra). A termékeket a Táplálékallergia Centrum kínálatából választottam figyelve arra, hogy

eltérő összetételű (keményítő forrása, pszeudocereáliák jelenléte és különbözősége, származási ország) minták szerepeljenek a vizsgálat során, ezáltal reprezentálva a gluténmentes kenyérfélék diverzitását. A kenyérszeletek 3 számjegyű, véletlenszerűen generált kóddal ellátott fehér tányéron kerültek a bírálók elé, akik egyéni munkával listát készítettek a mintákról annak színe, illata, textúrája (tapintás és kóstolás által) valamint íze alapján (KÓKAI és SIPOS, 2020).



27. ábra: Kenyer aromakerék (Forrás: ZHAW, 2018)

7. táblázat: Felhasznált kenyérminták az aromakerék vizsgálatához

Termék neve	Gyártó/forgalmazó	Kenyer típusa
TAC fehérkenyer	Tóth-Rabóczki Kft.	fehérkenyer
TAC barnakenyer	Tóth-Rabóczki Kft.	barnakenyer
Schär Classic	Asix Distribution Kft.	fehérkenyer
Schär Cereale	Asix Distribution Kft.	barnakenyer

Glutenex szeletelt kenyér	Glutenex	fehérkenyér
Bezgluten sokmagvas kenyér	Bezgluten	barnakenyér
Bezgluten fehérkenyér	Bezgluten	fehérkenyér
Bezgluten sokmagvas kenyér chia maggal	Bezgluten	barnakenyér

Az eredményeket az aromakerék segítségével csoportosan is vizsgálták, melynek eredményeként meghatározták a mindenki által egyértelműen érzékelt tulajdonságokat, valamint azokat, melyek nem szerepeltek az aromakeréken. Ennek összegzéséként létrejött a bírálati rendszer, és az érzékszervi tulajdonságokat 100 mm hosszúságú strukturálatlan skálán jelöltem. A későbbiekben a diétázók (50 fő) és a nem diétázók (50 fő) bírálói csoportok tagjai is ezzel megegyező bírálói lapot használtak a minősítés során. Az utóbbi két csoport tagjai laikus bírálónak minősülnek, mert nem szakemberek és nem kaptak előzetes képzést az érzékszervi minősítés előtt. Az érzékszervi minősítés során szerettem volna felmérni azt, hogy van-e szignifikáns különbség különböző bírálói csoportok között. A fejlesztés eredményeként kapott termékeket gluténmentes diétát folytatók (50 fő), diétát nem folytatók (50 fő) és képzett bírálói (10 fő) csoportokkal vizsgáltam.

A képzett bírálói csoportban nem volt olyan, aki gluténmentes diétát követett volna, de minden résztvevő rendszeres kenyérfogyasztónak vallotta magát. Az eredmények közötti összefüggést ANOVA teszttel, majd további post-hoc vizsgálattal (Tukey, Games-Howell teszt) elemeztem IBM SPSS Statistics 25.0.2.2 szoftver segítségével. A vizsgálat eredménye segít megérteni azt, hogy a bírálók kiválasztásánál milyen hatással van az eredményre, ha egyik vagy másik csoportból, esetleg vegyesen választunk bírálókat.

A fejlesztés eredményeként kapott termékeket a gluténmentes diétát követő képzetlen (n=50 fő), a diétát nem követő képzetlen bíráló (n=50 fő) és képzett bírálói (n=10 fő) csoportokban is megvizsgáltam, míg az utóbbi két csoport tagjai a reológiai mérésnél használt búzalisztes termékeket is kóstolták (3.8. fejezet). Korábbi publikációk alapján elmondható, hogy a gluténmentes kenyérminták kedveltségét leginkább meghatározó tulajdonságok a következők: puhaság tapintásra valamint rágás közben, porozitás, illat és íz intenzitás, valamint a morzsálékosság (PAGLIARINI et al., 2010; ALENCAR et al., 2017). Ezen tulajdonságok intenzitását is jelölték a bírálók, melyekből a minták kedveltségét hasonlítottam össze.

4. EREDMÉNYEK

4.1. Fogyasztói igényfelmérés

A szekunder piackutatás során számos adatbázisban kerestem a témához kapcsolódó publikációkat (Scopus, PubMed, Web of Knowledge, Google Scholar). A cikkeket kutatási területük szerint globális és hazai csoportba osztottam, így elkülönítve a magyarországi piackutatásból nyert adatokat. Általánosan elmondható, hogy a gluténmentes termékfejlesztéssel vagy a gluténfogyasztással kapcsolatos egészségügyi problémákkal foglalkozó publikációk számához képest kevés adat áll rendelkezésre a fogyasztói igényekkel és visszajelzésekkel kapcsolatban. A témának az utóbbi pár év adott valamelyest lendületet, melynek oka a gluténmentes diéta trend alapú követésének ugrásszerű emelkedése volt, és ez kezdte erre a kevésbé feltárt témakörre terelni a figyelmet.

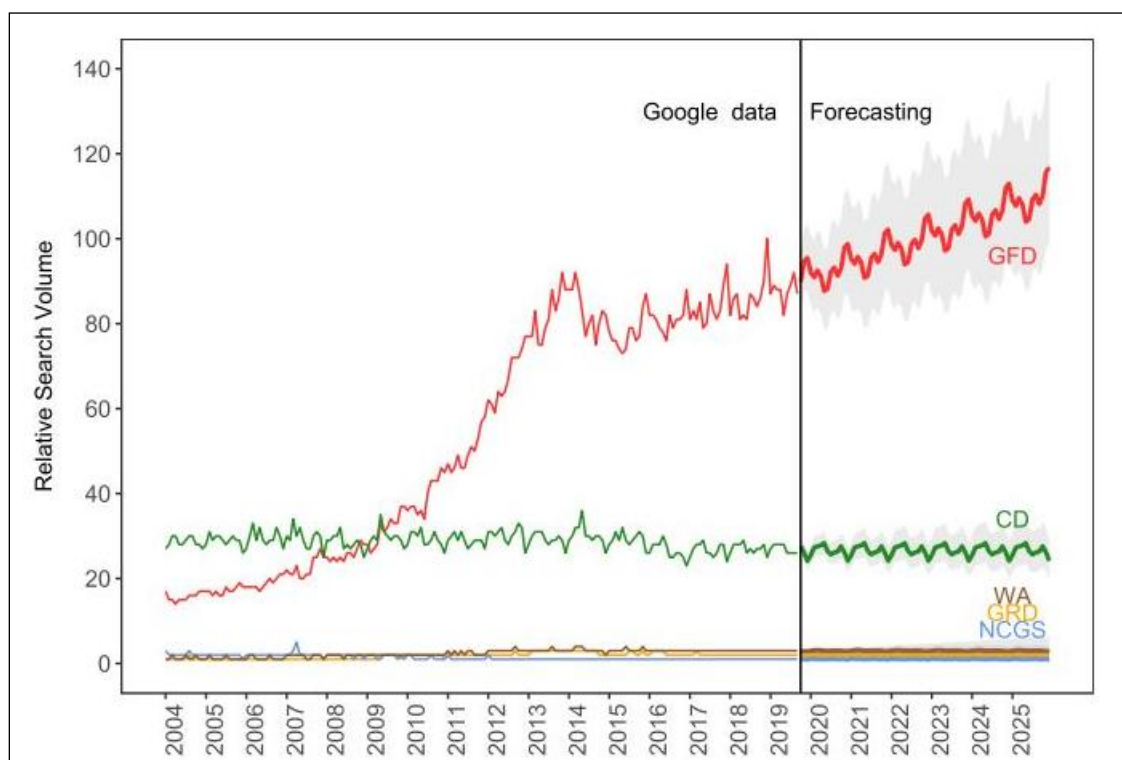
4.1.1. Szekunder piackutatás eredményei

4.1.1.1. A gluténmentes diéta népszerűsége és térnyerése

A gluténmentes piac mérete globálisan folyamatosan emelkedett az elmúlt évtizedben. Korábbi előrejelzések és piaci becslések szerint a növekedés 2004 és 2011 között évi 28% volt (GAESSER és ANGADI, 2012), 2012 és 2017 között 2.6 milliárdról 6.6 milliárd USD-re nőtt a globális piac mérete (GAESSER és ANGADI, 2016). A további becslések szerint a növekedés 2025-re elérheti a 8-16 milliárd USD méretet (STATISTA; GLOBENEWSWIRE). A korábban tapasztalt és a jövőbeli növekedés motorjaként két dolgot említenek az elemzők: egyrészt a Gluten Related Disorder (GRD), vagyis a gluténfogyasztás okozta emésztési problémák által érintett csoportok növekedése, másrészt a növekedés igazi dinamizmusát adó „divatdiéta” további térnyerését. Sok esetben ugyanis a 2010-es évtől kezdve a fogyasztók egy jelentős csoportja egészségesebb életmódot társít a gluténmentes diétához. Ennek különböző kutatások is bizonyítékát adják. Több ilyen tanulmány a Google kereséseket vette alapul, ahol a szerzők megvizsgálták a 2004 óta történt Google keresőbe írt diéta keresőszavakat. Azt tapasztalták, hogy a vegán és a vegetáriánus szavak után a gluténmentes volt a harmadik legtöbbször keresett diéta, mely még a szintén nagy népszerűségnek és ismertségnek örvendő mediterrán diétát is megelőzte (KAMINSKI et al., 2020a). A keresési adatok szerint a legtöbb keresést januárban végezték, míg a legkevesebbet novemberben és decemberben. Ez tovább erősíti azt, hogy a keresések többsége

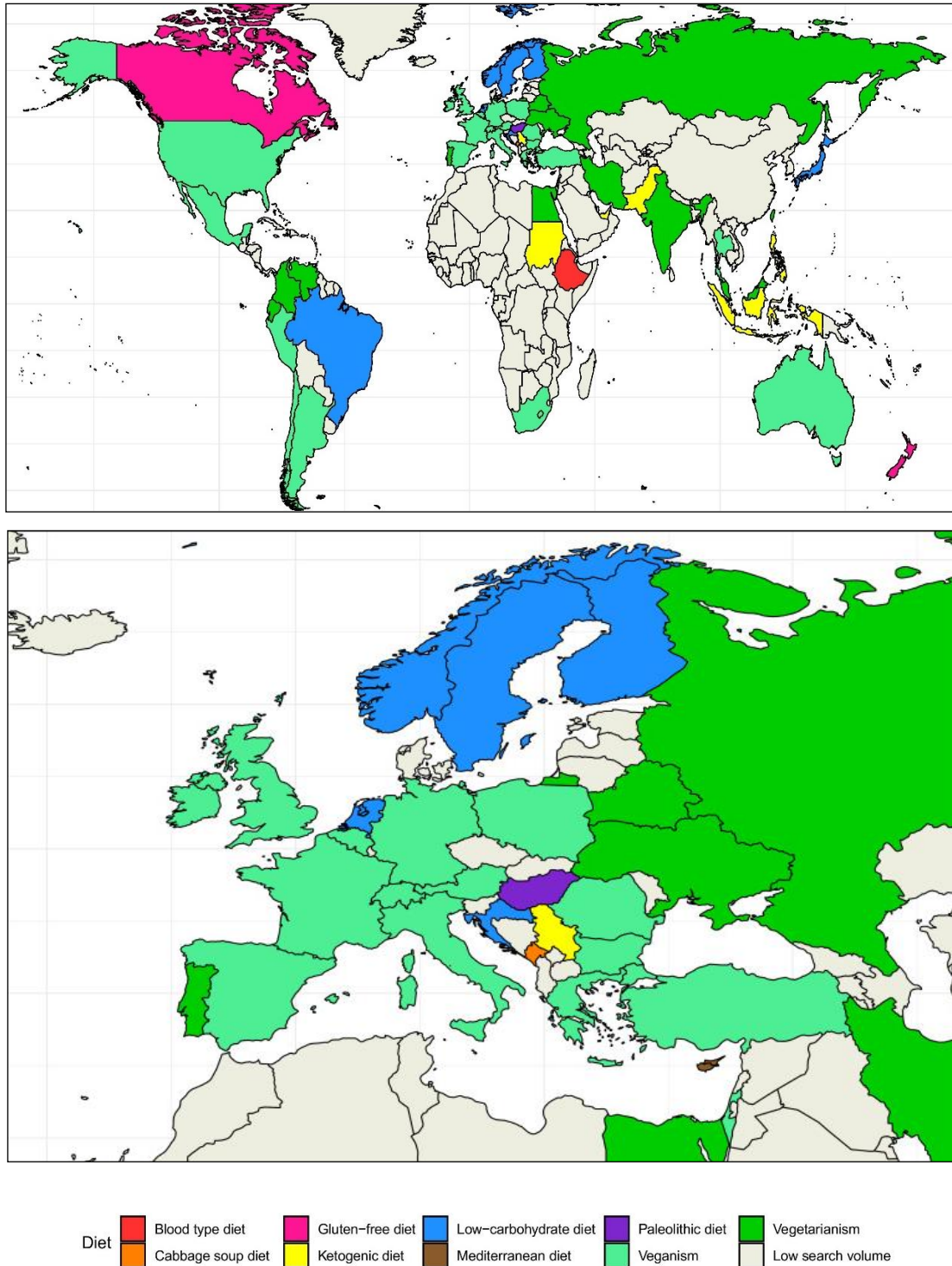
köthető az újévkor kezdett diétákhoz, és melynek során a gluténmentes diétához kedvező élettani hatásokat kötnek az emberek (KAMINSKI et al., 2020a).

Egy másik kutatás szintén a Google kereséseket vizsgálta 2004 és 2020 között. Az elemzés alapját a Relative Search Volume (RSV) adta. Az RSV a Google felhasználói szám egy adott földrajzi területhez és időszakhoz igazított keresési mennyiségi indexe. Számértéke alapján 0 jelöli az érdeklődés abszolút hiányát, míg 100-as érték kiugró érdeklődést mutat (KAMINSKI et al., 2020b). Az elemzés során 171 ország adatait vizsgálták, és a kapott adatok alapján az alábbi ábrán látható elemzést és prognózist állították fel (28. ábra).



28. ábra: RSV adatok 2004 és 2020 közötti időszak alapján az alábbi kifejezésekre: GFD- gluténmentes diéta; CD- Coeliakia; WA- Búzaallergia; GRD- Gluténfogyasztáshoz kapcsolódó emésztési zavarok; NCGS- Nem-Coeliakiás Glutén Szenzitivitás (KAMINSKI et al., 2020b)

A Google Trend RSV adatai egybevágnak a közgazdasági elemzésekkel, melyek a gluténmentes diéta divattá válását 2009-2010 környékére teszik. Az ezt követő években a gluténmentes diéta iránti érdeklődés folyamatosan emelkedett, míg magára a CD-re, NCGS-re, GRD-re vagy búzaallergiára történő keresések száma nem változott jelentősen (KAMINSKI et al., 2020b). A gyors ütemben teret nyerő és népszerűvé váló paleolit diéta hozzájárult ahhoz, hogy a gluténmentes étrend minél jobban elterjedjen globálisan, így Magyarországon is (KAMINSKI et al., 2020a). A paleolit diétára az egész világon Magyarországon mérték a legmagasabb RSV értéket (29. ábra).



29. ábra: RSV adatok ábrázolása országonkénti megoszlás szerint (KAMINSKI et al., 2020a)

A gluténmentes étrendet divatból követők egészségesebb életmódot társítanak hozzá, annak követésétől testsúly csökkenést remélnék. Egy 2013-as amerikai kutatás szerint a megkérdezettek 30%-a gondolta úgy, hogy a gluténmentes diéta egészségesebb a hagyományos étrendnél, és 27%-uk nyilatkozta azt, hogy fogyni lehet tőle (JONES, 2017; WATSON, 2013). Az

orvosi kutatások eredményei azonban bizonyították, hogy a fenti állítások nem igazak, a gluténmentes étrend nem segíti a fogyást egészséges egyéneknél. A gluténmentes termékek gyakran sokkal több keményítőt, zsírokat, olajokat, ám kevesebb rostot és vitaminokat tartalmaznak, mint a búzaliszt alapú megfelelőik, ezért az energia és szénhidrát bevitelt növelik (GAESSER et al., 2012; MISSBACH et al., 2015; NEWBERRY et al., 2017).

Egy 2020-ban Lengyelországban végrehajtott online kutatás szerint a megkérdezettek 87,8%-a nem szakembertől hallott a gluténmentes diétáról, hanem barátoktól, social media platformokról vagy hirdetésekben (ZIMMA et al., 2020). A kutatásban résztvevők 65,7%-a gondolta úgy, hogy a glutén fogyasztással kapcsolatos egészségügyi problémák a modern élelmiszeriparnak köszönhetők, és 63,8%-uk nem volt tisztában azzal, hogy a nem megfelelően alkalmazott gluténmentes diétának negatív egészségügyi következményei lehetnek (ZIMMA et al., 2020).

4.1.1.2. Gluténmentes termékek elfogadottsága a fogyasztók körében

A gluténmentes termékek fogyasztói elfogadottságáról korlátozott számú tanulmány érhető el mind hazai, mind nemzetközi szinten.

Egy Litvániában coeliakiások között végzett online felmérésből kiderül (OZOLA és STRAUMITE, 2014), hogy a válaszadók többsége szupermarketekben, online boltokban és speciális szaküzletben vásárol, és a felmérést megelőző évekhez képest egyre többet költ gluténmentes élelmiszerekre (58,7%-uk havi 100-135€-t vagy annál többet). Az is kiderült a felmérésből, hogy a résztvevők számára problémát jelent a nem otthoni étkezés (közétkeztetés, éttermi vagy szállodai étkezés) megoldása. Az ottani célcsoport tagjai alapvetően elégedettek a gluténmentes száraztésztákkal és édességekkel, nem úgy, mint a kenyerekkel, kenyérfélékkel és cukrászati termékekkel (például tortákkal, aprósüteményekkel). Az eredmények alapján a 2010/2011-ben végzett felméréshez képest 2014-ben szignifikáns javulást nem tapasztaltak a termékek minőségét illetően, a válaszadók többsége „átlagosnak” vagy „jónak” értékelte a litvániai piacon elérhető termékeket, „nagyon jó” értékelés kis százalékban fordult elő. A tanulmány vezetői szerint a termékek további nagymértékű fejlesztésére lenne szükség a gluténmentes termékek kedveltségének növeléséhez. Sajnos a felmérés kiértékelésében nem közöltek arra vonatkozó adatokat, hogy miért értékelik úgy a válaszadók a termékeket ahogy tették, mik a fennálló problémák, azok milyen sorrendiséggel rendelkeznek, és nincs javaslat a termékfejlesztésekre vonatkozóan (OZOLA és STRAUMITE, 2014).

Az Egyesült Királyságban készült 2014-es felmérés már részletesebb adatokat és elemzést közölt (POTTER et al., 2014). A 60 diétázó bevonásával zajlott teszt során felmérték, hogy a

fogyasztók számára mely faktorok és mekkora súllyal játszanak szerepet a termékválasztásban. Ezek alapján a termék íze lett a legfontosabb tényező, melyet a válaszadók 88%-a jelölt legfontosabbnak az összes közül. Másodikként a tápanyag tartalom szerepel, míg ezt szorosan követve a termék ára lett a harmadik meghatározó tényező.

A termékekkel kapcsolatos legjelentősebb problémaként a következőket mondták a felmérésben résztvevők: töredezett, eltört kenyérszeletek, száraz és morzsalékos kenyérbélzet, rövid eltarthatóság felbontás után. A fókuszcsoporthoz tartozó interjúk során arra is fény derült, hogy a szeletelt kenyereknél a szeletek mérete is kiemelten fontos a vásárlók számára, és a felmérés idején kereskedelmi forgalomban kapható termékeknél nem tartották megfelelőnek azokat.

A fogyasztók szívesen látnának olyan termékeket, melyek beltartalmi értékeit vitaminokkal, rostokkal és ásványi anyagokkal dúsítják. A termékek kóstolási tesztje során pedig a gluténmentes búzakeményítő alapú termékek kedvezőbb elbírálást kaptak a kukorica- vagy rizsliszt alapúaknál.

A tanulmány készítői megállapították, hogy a gyártástechnológia és a termékek elérhetőségének fejlődése ellenére a gluténmentes kenyerek nem javultak szignifikánsan a fogyasztói megítélések szerint, és ugyanazokkal a problémákkal küzdenek, melyeket már korábban feltártak. Emiatt jelentős fejlesztésre lenne szükség annak érdekében, hogy puha, kellő nedvességtartalmú, kellemes ízű és megjelenésű, hosszabb ideig eltartható gluténmentes kenyér kerüljön a fogyasztókhoz (POTTER et al., 2014).

A magyarországi adatokkal kapcsolatban két művet tudtam felhasználni szekunder kutatásként, ám ezek sem adtak teljes képet az általam keresett kérdésekre. CSAPÓNÉ és PÉNTEK (2018) kutatása 196 fő online megkérdezéses módszerén alapult, melyben szerepeltek zárt, feleletválasztós, skálás és demográfiai kérdések. Válaszadók fele naponta többször, további 27%-uk naponta fogyaszt gluténmentes kenyeret, így a kutatás eredményei számomra is relevánsként kezelhetők. A tanulmány eredményeként elmondható, hogy a kenyérfogyasztás gyakorisága a reggelihez és a vacsorához köthető, valamint hogy a résztvevők 51%-a vásárolja, és nem otthon készíti a kenyeret. A kenyérvásárlás gyakorisága szerint a válaszadók 50%-a a hetenkénti beszerzésnél ritkábban, 23% hetente és 25% 2-3 naponta, míg naponta csupán 2%-ban vásárolnak terméket. A termékek beszerzését igyekeznek az egyéb élelmiszervásárlásokkal egybekötni, ezért szupermarketekben és speciális szaküzletekben végzik. Havi szinten a nettó jövedelmük kevesebb mint 5%-át fordítja erre a válaszadók 44,9%-a, 5-20%-át a megkérdezettek 48,7%-a, 20% felett költ ezen termékekre a válaszadók 6,4%-a.

A kutatásban résztvevők a termékek elérhetőségét és minőségét a 8. táblázatban szereplő adatok szerint értékelték.

8. táblázat: Elégedettség a hazai gluténmentes kenyérválasztékkal és a kenyerek minőségével (CSAPÓNÉ és PÉNTEK, 2018)

Elégedettség szintje	Gluténmentes kenyérválaszték	Gluténmentes kenyerek minősége
Igen, teljes mértékben	14,1%	10,3%
Igen, részben	37,2%	43,5%
Nem	48,7%	46,2%

Összegzésképpen a szerzők megállapították, hogy válaszadóik meglehetősen magasnak tartják a gluténmentes kenyerek árát (drága: 44,9% - irreálisan drága: 34,6% - kissé drága: 19,2% - reális: 1,3%). A kutatásban vizsgálták még a szerzők által megjelölt márkák közötti preferenciát és a márkahűséget (CSAPÓNÉ és PÉNTEK, 2018).

Egy másik hazai, fókuszcsoportos interjúkon és online kérdőíves módszer alapján végzett kutatás során 218 hölgy válaszait elemezték a különböző diétákkal kapcsolatban (TÉGLÁSY, 2017). Fontos kiemelni, hogy ennek a kutatásnak nem a gluténmentes étrendet követők voltak a fő célcsoportja, csupán részegysége. Az eredmények alapján kiderült, hogy a megkérdezettek (218 fő) alig több mint 30%-a tartja a diétát 4 évnél régebben. A kutatásban résztvevők közül a legtöbben vegán és paleolit étrendet követnek, melyek motivációja „elvi okokra” vezethető vissza, a diéta követését orvos által diagnosztizált betegség, allergia vagy intolerancia nem indokolja. A válaszadók a termék összetevőit, minőségét és ízét fontosabbnak értékelték, mint az árát (TÉGLÁSY, 2017).

4.1.1.3. Kereskedelmi forgalomban elérhető gluténmentes kenyeret leíró publikációk

A 6. ábrán látható adatok alapján látszik, hogy éves szinten több száz tudományos publikáció jelenik meg gluténmentes kenyeréről és lisztekről. Ezen publikációkban gyakran olvasható, hogy a kenyerek és kenyérfélék több jelentős problémával küzdenek a búzalisztes termékekhez képest: száraz, morzsalékos és tömör kenyérbélzet, erős utóíz, száraz és vastagabb kenyérhéj, kisebb térfogat, rövidebb minőségmegőrzési idő (ELGETI et al., 2015; RONDA et al., 2017; MARTÍNEZ és GOMEZ, 2017; CONTE et al., 2018; RYBICKA et al., 2019). A publikációk többsége azonban nem a piacon kapható termékeket vizsgálja és állítja referenciaként, hanem a publikáló kutató/kutató csoport által önkényesen választott és/vagy összeállított saját receptúrájú saját terméket. Az utóbbi években megjelent néhány tudományos cikk, mely elkezdte felhívni a kereskedelmi termékek és a tudományos munkák közötti különbségre és szakadékra a

figyelmet. Ezek a cikkek azonban csak a kenyerek összetétel és a tápanyagtáblázat adatait hasonlították össze (ROMAN et al., 2019; FRY et al., 2018; FOSCHIA et al., 2016; CORNICELLI et al., 2018; TRES et al., 2020), kiegészítve azok fogyasztói árának összehasonlításával a búzalisztes termékekhez képest (MISSBACH et al., 2015; JAMIESON és GOUGEON, 2017; MOHD FAUAD et al., 2020).

Azon tudományos publikációk száma, melyek a kereskedelmi forgalomban kapható termékkel foglalkoznak korlátozottak, a helyi piac termékeit veszik górcső alá, és hiányoznak azok a nyomonkövetések, amellyel egy-egy piac fejlődését lehetne monitorozni (9. táblázat). Mivel a sütőipari alap- és segédanyagok száma és elérhetősége dinamikusan, gyors ütemben növekszik és technológiailag fejlődik, ezért ez pozitív kihatással van GM kenyerek minőségére is.

9. táblázat: Kereskedelmi forgalomban kapható GM kenyerekkel és lisztetekkel kapcsolatos publikációk

Év	Témakör
2003	GM búzakeményítőt tartalmazó kereskedelmi forgalomban kapható liszt javítása különböző tejfehérjékkel (GALLAGHER et al., 2003)
2004	A kutatók saját GM lisztkeverékéből készített mintákat hasonlították össze kereskedelmi forgalomban elérhető GM kenyerekkel (MOORE et al., 2004)
2012	Kenyérfeldolgozási lehetőség és késztermék vizsgálata 7, áruházakban kapható GM lisztkeverékből és búzalisztből, valamint teljes kiőrlésű búzalisztből (HAGER et al., 2012b)
2012	Különböző GM kenyerek vizsgálata és összehasonlítása a műszeres és érzékszervi tulajdonságok függvényében (MATOS és ROSELL, 2012)
2013	2 kereskedelmi GM lisztkeverék HPMC-vel és hajdinával történő feljavításának vizsgálata (MARIOTTI et al., 2013)
2014	5 GM kenyérben és lisztkeverékben található különböző keményítők emészthetőségének vizsgálata in vitro módszerrel (WOLTER et al., 2014)
2014	Vizuális és ízbeli preferencia illetve kedveltség mérése 3 GM kenyérnek Coeliakiás gyermekek körében (MAZZEO et al., 2014)

2016	Kereskedelmi forgalomban kapható GM lisztkeverék javítása gesztenyeliszttel, illetve azok összehasonlítása 3 napos tárolási kísérlet során (PACIULLI et al., 2016)
2018	Különböző típusú és eredetű rizsből készült GM lisztkeverékek és kenyerek vizsgálata (FEIZOLLAHI et al., 2018)
2020	GM és búzaliszt alapú termékek érzékszervi összehasonlítása, az érzékszervi módszer kidolgozása és javítása (PUERTA et al., 2020)

A fenti táblázatban szereplő publikációk egyike sem érinti Magyarországot, így a hazai gluténmentes sütőipari termékek reológiai és érzékszervi tulajdonságairól nincs nemzetközi szinten elérhető adat. Mivel a kenyérfogyasztási és érzékszervi igények eltérőek lehetnek más országokban (21. ábra), ezért a különböző országokban elérhető gluténmentes kenyerek vizsgálata nem vonatkoztatható alapos körütekintés nélkül Magyarországra.

4.1.2. Primer piackutatás eredményei

A fent említett hazai vagy nemzetközi kutatások nem tértek ki részletesen olyan kérdésekre, melyek további fontos információkat jelentenének a diétázók szokásainak, elégedettségének és igényeinek pontosabb megismerésére. Ezért a primer kutatásom során azokra a kérdésekre igyekeztem választ találni, melyek a 3.1.1-as fejezetben kerültek felsorolásra.

4.1.2.1 Személyes adatok, diéta oka és más egészségügyi problémák

A kutatás mintasokaságát 400 főben határoztam meg (3.1.2. fejezet), de végül a kérdőívet 500 fő töltötte ki. A kérdőívet a legnagyobb hazai online közösségi csoportban tettem közzé (Gluténmentes konyha és lisztérzékeny hétköznapiak, Facebook). A válaszadók nemét, korcsoportját és a gluténmentes diéta követésének okát a 10. táblázat mutatja be.

10. táblázat: A válaszadók kor és nem szerinti eloszlása, valamint a diéta követésének oka (CD – Coeliakia; NCGS – Nem coeliakiás glutén szenzitivitás)

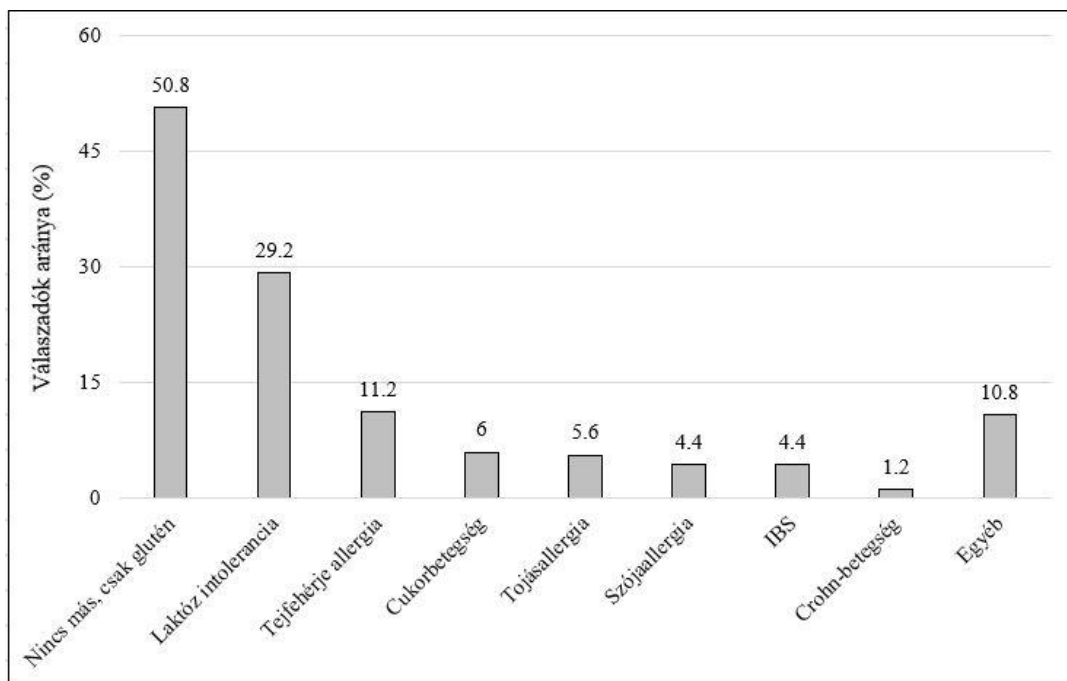
Diéta oka	Életkor (év)										Sum
	< 18		18-25		26-35		36-45		46 <		(%)
	Nő	Férfi	Nő	Férfi	Nő	Férfi	Nő	Férfi	Nő	Férfi	
CD	7.2	5.2	9.2	1.2	17.2	2.8	17.6	3.2	16.4	0.8	80.8

NCGS	0	0	0.8	0	1.2	0.4	1.6	0	0.8	0.4	5.2
Saját elhatározás	0.4	0	2	0	2.8	0	2	0	0	0	7.2
Egyéb	0	0	0	0	1.6	0	3.2	0	1.6	0.4	6.8
Sum (%)	7.6	5.2	12	1.2	22.8	3.2	24.4	3.2	18.8	1.6	100

Az adatok elemzéséből látszik, hogy az utóbbi csoport tagjai 1-2 vagy 4-5 éve tartják a diétát, ami egybeesik az RSV adatokkal, miszerint a gluténmentes diétára 2014-2015-ben és 2018-2019-ben volt kiemelkedően sok keresés. Az is figyelemre méltó adat, hogy csak hölgyek tartoznak ebbe a csoportba, tehát a kutatásban részt vevő férfiak mindegyike diagnosztizált probléma miatt folytat gluténmentes diétát.

Az „egyéb” ok alatt a válaszadók más egészségügyi problémák vagy betegségek meglétét említették, melyeknél az orvos javasolt gluténmentes diétát. Ilyen „egyéb” ok volt a búzaallergia, autizmus, hiperaktivitás, inzulin rezisztencia. Búzaallergia esetében valóban segítséget jelenthet a diéta, de ügyelni kell arra, hogy a termék ne tartalmazzon gluténmentes búzakeményítőt, mert abban még előfordulhat olyan búzafehérje kontamináció, melyek tüneteket okozhatnak. Autizmus esetén pedig az orvosi szakirodalom megosztott, de egyes feltételezések és kutatások szerint a gluténmentes diéta segíthet az állapot kezelésben (BUIE, 2013; CROALL et al., 2021).

Arra a kérdésre, hogy „van-e a gluténfogyasztás mellett valamilyen más ételallergiája vagy intoleranciája, emésztőrendszeri vagy arra kiható megbetegedése”, a válaszadók csupán 50,8%-a felelte azt, hogy nincs (30. ábra). Ez azt jelenti, hogy a diétázók fele a glutén mellett valamelyik másik diétát is kénytelen követni orvosi indokból. Legnagyobb hányadban a laktóz intolerancia (29,2%) valamint a tejfehérje allergia (11,2%) jelentkezik társuló problémaként, de nem elhanyagolható a cukorbetegség, szójaallergia vagy IBS (irritábilis bélszindróma) megjelenése. Az egyéb betegségek között jelöltek pajzsmirigy betegséget, Hashimoto szindrómát (idült, krónikus pajzsmirigygyulladás), Candida és/vagy Colitis ulcerosát (fekélyes vastagbélgyulladás).

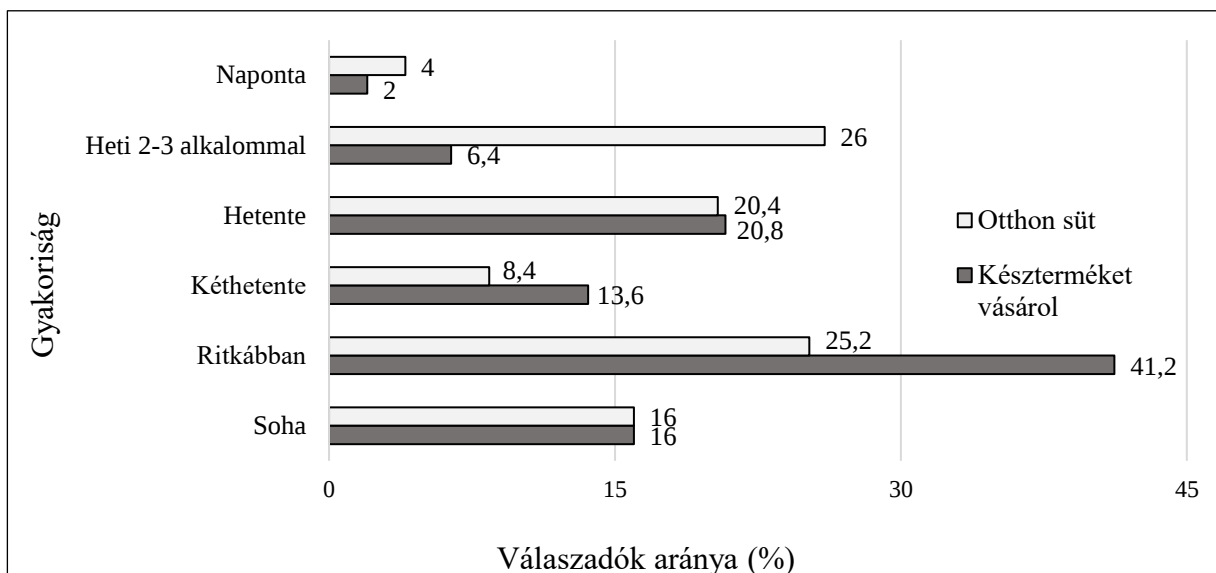


30. ábra: Fogyasztói válaszok megoszlása arra a kérdésre, hogy „van-e a gluténfogyasztás mellett egyéb élelmiszer intoleranciája, allergiája vagy egyéb betegsége”

Az összes válaszadó 14,8%-a jelölte a gluténfogyasztással kapcsolatos problémája mellett legalább 2 egyéb társuló betegség egyidejű meglétét, melyek közül a leggyakoribb a glutén-, tejfehérje- és tojásallergia, valamint a glutén-, laktóz intolerancia-, és tojásallergia kombinációk voltak. Az adatokból látszik, hogy gluténmentes termékfejlesztés során annak érdekében, hogy minél szélesebb fogyasztói kört tudjon a gyártó kiszolgálni, nem elég „csak gluténmentes” terméket előállítani. Mindezek mellett felhasználhatóságában, reológiai, eltarthatósági és érzékszervi tulajdonságaiban az ideális végterméknek búzalisztből készült termékre kell minél jobban hasonlítani.

4.1.2.2 Kenyér készítési és vásárlási szokások

A felmérés során megkérdeztem a válaszadókat, hogy vásárolnak-e készterméket (kenyeret), otthon sütnek, vagy esetleg mindkét megoldást használják. Ezeknek a gyakoriságára voltam kíváncsi, illetve a válaszok korcsoporthoz és egyéb egészségügyi állapothoz való kapcsolatára. A termékvásárlási és/vagy otthon sütési adatokat a 31. ábra tartalmazza.



31. ábra: Termékvásárlási és/vagy otthon sütési válaszok megoszlása (n = 500 fő)

A kutatásban résztvevő 500 fő 50,4%-a rendszeres otthoni kenyérfőző (heti legalább egyszer süt otthon), közöttük 84,25% a nők aránya. A kutatásban összesen résztvevő férfiak 55,5%-a, míg a nők 59,3%-a tartozik ebben a csoportba. A koronkénti megoszlást a 11. táblázat mutatja be. Az adatokból látszik, hogy életkortól függetlenül a férfi, gyakran otthon sütő válaszadók közül a hetenkénti 2-3-szori kenyérfőzés a leggyakoribb, míg nők esetében a heti többszöri illetve a hetenkénti gyakoriság a jellemző. Az is megállapítható, hogy a gyakran otthon sütő csoportba tartozó férfiak 10%-a, a nők 7,5%-a készít minden nap otthon gluténmentes pékárut.

11. táblázat: Korcsoport megoszlása a gyakori otthon sütők között nemeként

Sütés Kor (év)	Férfiak (fő)			Nők (fő)		
	Naponta	Heti 2-3 alkalommal	Hetente	Naponta	Heti 2-3 alkalommal	Hetente
<18	2	10	6	2	12	4
18-25	-	-	2	-	6	16
26-35	-	4	4	2	24	26
36-45	-	6	-	10	26	32
>45	2	4	-	2	38	14

A társuló betegségek nézőpontjából a férfiak 40%-ának van egyéb társuló betegsége, melyek közül a leggyakrabban előfordulók a laktóz intolerancia és a cukorbetegség. A naponta otthon sütő férfiak mindegyikének van laktóz intoleranciája. Nők esetén a gyakran otthon sütők

56,1%-ának van egyéb társuló betegsége. A leggyakoribb társuló betegség itt is a laktóz intolerancia volt (46,6%), ám ezen válaszadók közül senki sem süt otthon napi rendszerességgel kenyeret.

A készterméket gyakran vásárlók aránya 29,2% volt. Ebbe a csoportba tartoznak azok az emberek, akik hetente legalább egyszer vásárolnak fogyasztásra kész, előre elkészített és csomagolt kenyeret vagy kenyérfélét. A kutatásban összesen résztvevő férfiak 38,8%-a míg a nők 27,6%-a tartozik ebben a csoportba. A koronkénti megoszlást a 12. táblázat mutatja be.

12. táblázat: Korcsoport megoszlása a gyakori készterméket vásárlók között nemeként

Vásárlás Kor (év)	Férfiak (fő)			Nők (fő)		
	Naponta	Heti 2-3 alkalommal	Hetente	Naponta	Heti 2-3 alkalommal	Hetente
<18	2	2	8	2	2	10
18-25	-	-	2	4	6	14
26-35	-	4	2	-	8	26
36-45	-	2	4	2	4	18
>45	-	-	2	-	2	20

Az adatokból kiolvasható, hogy a férfiak és a nők körében is a heti vásárlás a leggyakoribb. A napi vásárlás aránya 18 év alatti férfiak esetében magasabb, mint a napi otthoni elkészítése, míg nőknél alacsonyabb. Az is megállapítható, hogy a gyakran vásárló csoportba tartozó férfiak 14,3%-a, a nők 6,7%-a vásárol napi szinten. Az összes résztvevő közül ez férfiak esetében 2,7%, nők esetében 1,8%-ot jelent.

Társuló betegségek szempontjából a gyakran vásárló férfiak 28,6%-a rendelkezik valamilyen társuló betegséggel. A társuló betegségek megoszlása azonos volt laktóz, tejfehérje, tojásallergia, szójaallergia és Crohn betegségek között. A napi szinten készterméket vásárló férfiaknak nem volt egyéb betegségük.

A gyakran vásároló nők 44,1% rendelkezik társuló betegséggel, leggyakrabban laktóz intoleranciával vagy cukorbetegséggel. 13,5%-uk pedig a gluténnal kapcsolatos probléma mellett egyidejűleg még 2, vagy annál több egyéb társuló betegséggel küzd.

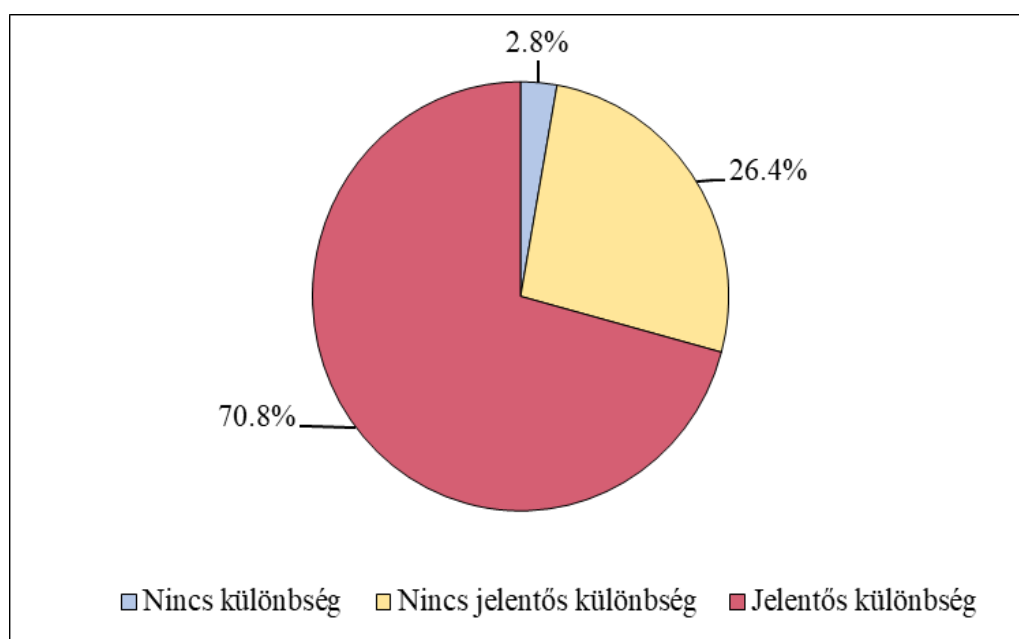
Azok, akik soha nem sütnek otthon kenyérfélét – korcsoporttól függetlenül – legalább ritkán vásárolnak csomagolt kenyeret. Ennek a fordítottja is igaz: azok, akik soha nem vásárolnak készterméket, legalább ritkán sütnek otthon kenyeret. Többségük (47,5%) hetente többször süt

otthon, míg naponta 10%-uk. A ritkán vagy kéthetente sütők csoportjában 42,8% a gyakori készterméket vásárlók csoportjába tartozik. Életkort tekintve a ritkán otthon sütők 26 év felettek, közel azonos megoszlásban a megadott korosztályok szerinti csoportosításban. A ritkán vagy kéthetente készterméket vásárlók 56,9%-a gyakori otthon sütőnek számít, életkor szerint 80,7%-uk 26 év feletti.

Általánosan elmondható a kapott adatok alapján, hogy a vizsgálatban szereplők között korcsoporttól függetlenül kétszer olyan gyakran készítenek otthon kenyérfélét mind a férfiak mind a nők a késztermék vásárláshoz képest. A rendszeresen otthon kenyeret sütők és rendszeres kényelmi terméket vásárlók átfedése az összes válaszadóra nézve 8% volt, amely a rendszeres otthon sütők 15,7%-át, a rendszeres kényelmi terméket vásárlók 27,4%-át teszi ki. Az átfedést adó csoport tagjai közül 60%-nak nincs társuló betegsége, míg a fennmaradó 40%-nál a leggyakoribb egyéb élelmiszerhez köthető probléma a laktóztolerancia és a tejfehérje-allergia. Azok, akik hetente többször sütnek otthon kenyérfélét csak hetente egyszer vásárolnak készterméket, míg a hetente többször vásárlók csak hetente egyszer sütnek otthon.

4.1.2.3 Fogyasztói elégedettség és a fennálló problémák

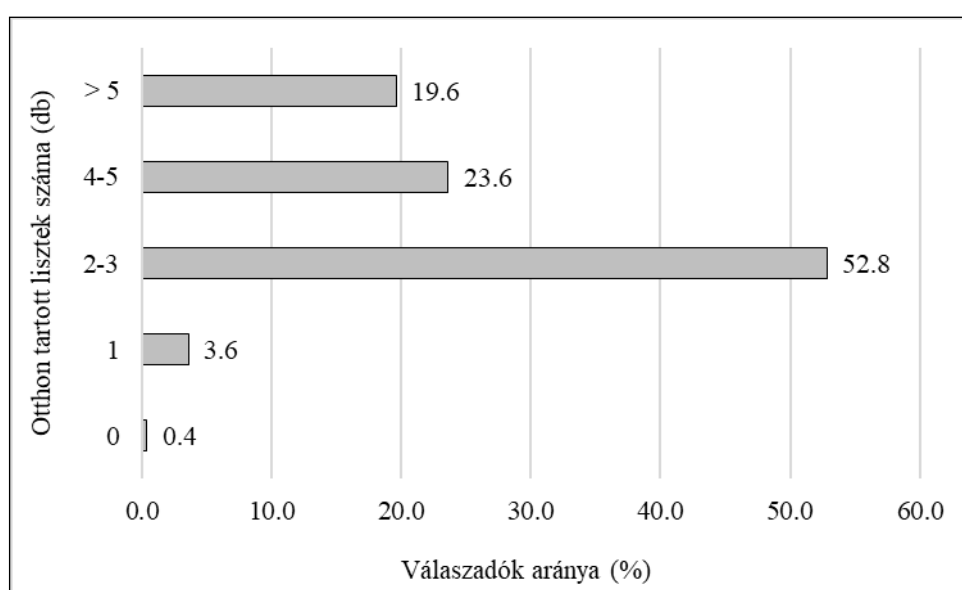
A válaszadók döntő többsége elmondása alapján „jelentős különbséget” érez a hagyományos és a gluténmentes termékek között, míg a résztvevők közel negyede érez különbséget, de nem tartja jelentősnek (32. ábra).



32. ábra: A válaszok százalékos megoszlása arra vonatkozóan, hogy éreznek-e különbséget a gluténmentes és a hagyományos kenyerek között

A jelentős különbséget érzők csoportja és az életkor, valamint a nem között nincs szignifikáns kapcsolat 95%-os konfidencia intervallum mellett ($p=0.3585$, és $p=0.251$). A csoport tagjainak 80%-a gyakran süt otthon pékárut vagy gyakran vásárol készterméket, így megállapítható, hogy válaszadók hiába érznek jelentős különbséget, továbbra is gyakran (legalább heti egyszeri rendszerességgel) vásárolnak vagy sütnek otthon pékárut.

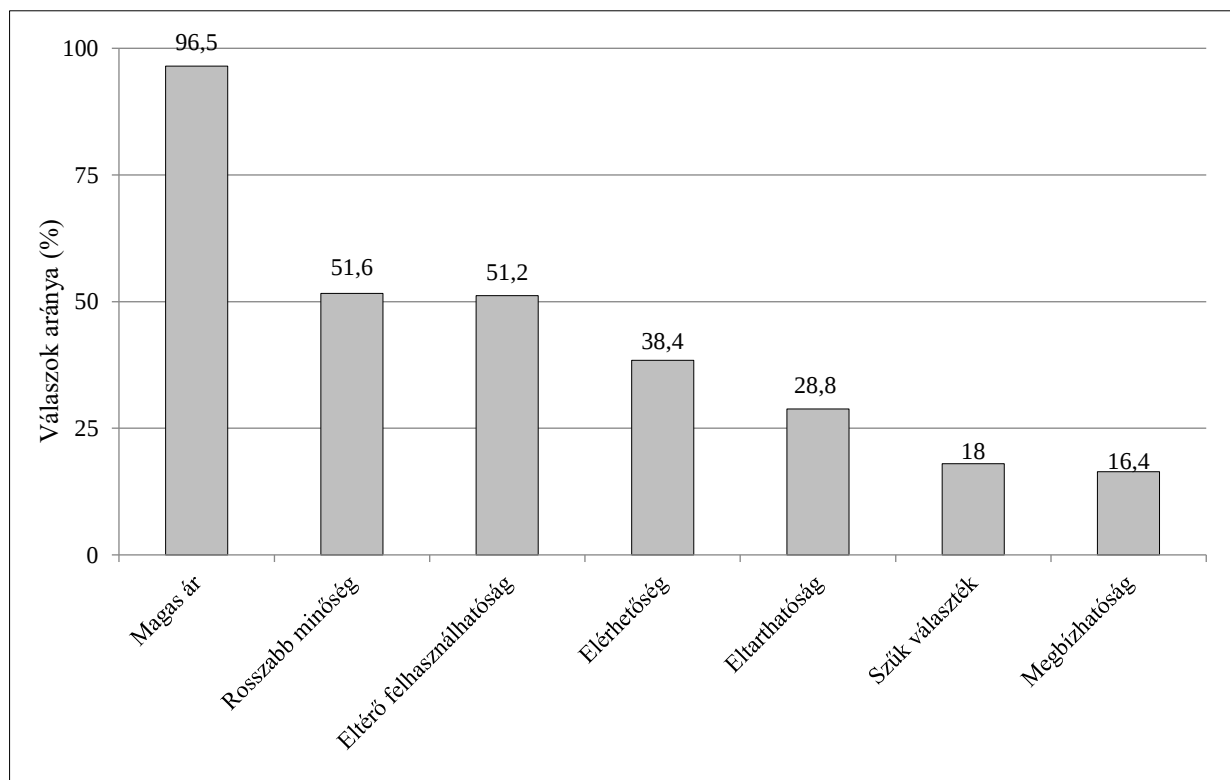
A kutatásban résztvevők 19,6%-a 5 vagy több különböző gluténmentes lisztkeveréket tart otthon, míg a válaszadók 52,8%-a 2-3-at (33. ábra). A válaszadók szerint azért van szükség ennyi különböző termék egyidejű használatára, mert a lisztkeverékek ellentétben a búzaliszttal nem univerzálisak, hanem célliszt keverékek (külön lisztkeverékek például kenyérhez, süteményekhez, muffinhoz, sűrítéshez).



33. ábra: Egyidejűleg otthon tartott lisztkeverékek száma

A kutatásban résztvevők a gluténmentes kenyerekkel és lisztkeverékekkel kapcsolatos problémák közül a 34. ábrán láthatókat említették a 13. táblázatban látható rangsorolás szerint. A legnagyobb problémát az alapanyagok (lisztkeverékek, fehérjék, rostok) illetve a késztermékek magas ára jelenti. Ezt a problémát mind a gyakran otthon sütők és a gyakran vásárlók is a legfontosabb problémaként jelölték.

A rosszabb minőséget többségében a készterméket vásárlók jelölték magasabb rangú problémaként, míg az eltérő felhasználhatóság a gluténmentes lisztkeverékek esetén okoz gondot az otthon sütők részére. A kérdőívben kitöltött megjegyzések alapján arra is fény derült, hogy az elérhetőség leginkább azoknak okoz problémát, akik nem a fővárosban vagy nagyobb vidéki városban élnek, és frissen sült készterméket vásárolnának. A megbízhatóságnál a termék gluténmentességével illetve az állandó színvonallal kapcsolatos aggályok merültek fel.



34. ábra: A gluténmentes kenyerekkel és lisztekkel kapcsolatos problémák százalékos megoszlása

13. táblázat: A válaszadók által jelölt problémák rangsorolásának megoszlása

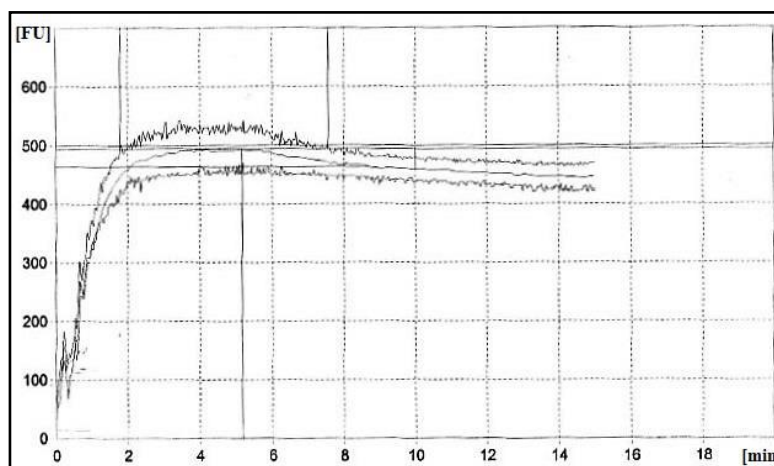
Tulajdonság \ Rangsor	Rangsor						
	1	2	3	4	5	6	7
Magas ár	64,8	14	5,2	1,2	2,8	2	10
Eltérő felhasználhatóság	3,6	20,8	20,4	21,6	16	11,2	6,4
Rosszabb minőség	12	24,4	16,4	14,4	11,6	12,4	8,8
Túl szűk választék	5,2	8,8	10,8	16,8	21,2	19,6	17,6
Eltarthatóság	3,2	8,8	17,2	18,4	18,8	20,4	13,2
Megbízhatóság	5,2	10	12	12	14,8	19,6	26,4
Elérhetőség	6	13,2	18	15,6	14,8	14,8	17,6

4.2. Kereskedelmi forgalomban kapható gluténmentes lisztkeverékek vizsgálata

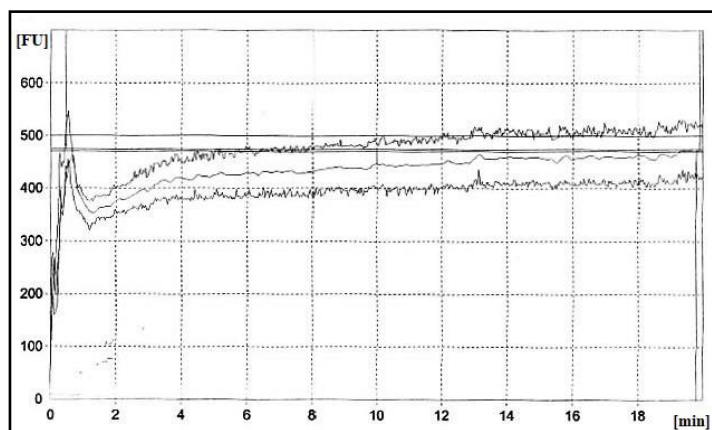
4.2.1. A vizsgált gluténmentes lisztkeverékek reológiai tulajdonságai

Méréseim során farinográfus vizsgálattal elemeztem a magyar piacon kapható legnépszerűbb gluténmentes lisztkeverékeket, valamint a kontrollként használt BL-80 búzalisztet

(C_{BL}) és rizslisztet (C_{RL}). Utóbbi két minta esetén a farinográfos görbe által adott adatok megegyeznek a korábban publikált szakirodalmi adatokkal (HAGER et al., 2012b; SIVARAMAKRISHNAN et al., 2004; NICOLAE et al., 2016). A búzalisztből rövid idő alatt (Kialakulás: 3.5 perc) stabil tészta alakult ki (Stabilitás: 5.8 perc), mely a további dagasztás hatására ellágyult (Ellágyulás: 48 FU) 62,5%-os vízfelvétel mellett (35. ábra). A rizsliszténél ezzel szemben a kezdeti tészta kialakulás után egy ellágyulás, majd hosszú ideig tartó lassú ütemű konzisztencia növekedés volt tapasztalható (Kialakulás: 19.3 perc, Stabilitás: 0.7 perc; Ellágyulás: 16 FU) (36. ábra).



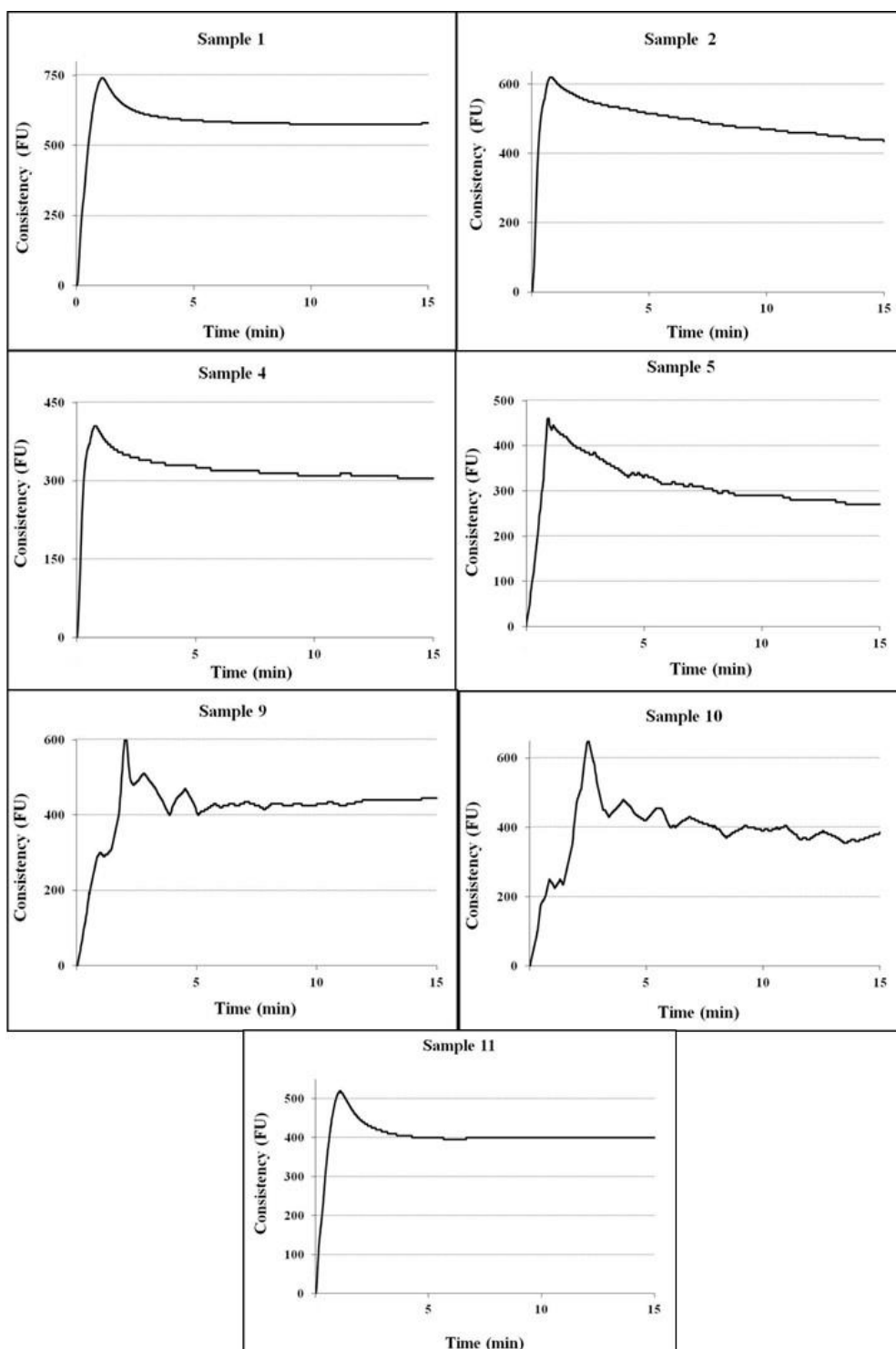
35. ábra: C_{BL} farinográfos görbéje



36. ábra: C_{RL} farinográfos görbéje

A kereskedelmi forgalomban kapható minták esetében általánosan elmondható, hogy egyik minta sem mutatott olyan tulajdonságokat, mint a referenciaként használt C_{BL} . A farinográfos görbéjük alapján a vizsgált gluténmentes lisztkeverékek három csoportra oszthatóak. Az első csoportba tartoznak azok a minták (37. ábra), melyek rövid kialakulási idővel el tudták érni a 450-500 FU értéket, de ezt követően nagymértékű ellágyulási következett be, a tészták stabilitása csak

az ellágyulás után volt tapasztalható. A csoport minden eleme a farinográfos csoportosítás szerint a gyenge minőségű csoportba tartozik. A 2. és 5. minta esetében a rövid kialakulási időt követően nem volt a tésztáknak stabilitása, a maximum értéket követően folyamatos lágyulás volt mérhető.



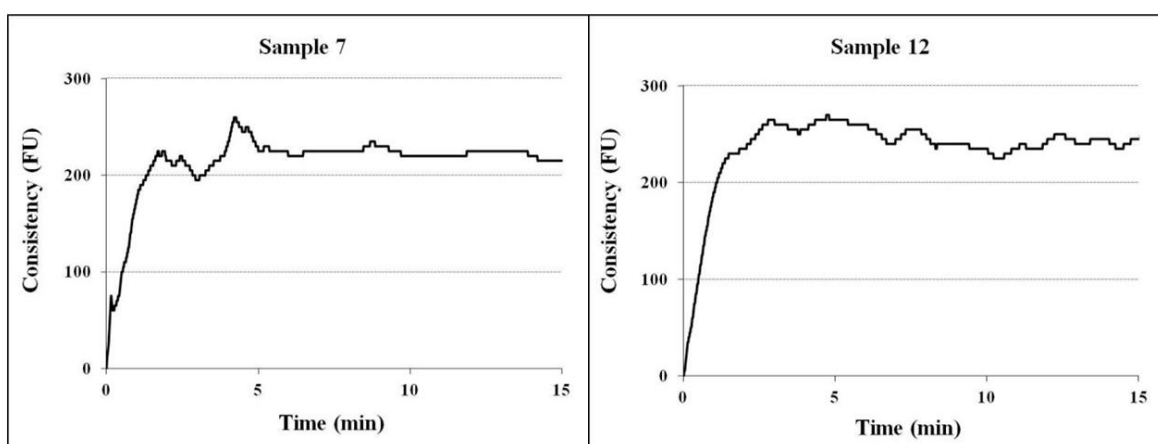
37. ábra: Az 1. csoportba tartozó minták farinográfos görbéi

Az első csoportba tartozó minták összetételében közös volt, hogy mindegyik tartalmazott kukoricakeményítőt és valamilyen hidrokolloidot. Az 1., 5. és 9. minták esetében guar gumi és HPMC egyidejűleg voltak jelen a mintákban kukoricakeményítő mellett, de a farinográfos görbéik alapján eltérő reológiai tulajdonságokat mutattak. Erre magyarázatként a lisztkeverékekben alkalmazott többi összetevő szolgál, melyek hatására különbözőképpen viselkednek a minták. Az 1. és 9. mintában lévő rostok segítették a víz megtartását, így a tészta további lágyulása megállt, és hosszú ideig stabil tészta alakult ki a kezdeti nagymértékű lágyulást követően. Az 1. és 9. minta közötti különbséget feltehetően pedig az utóbbiban alkalmazott keményítőfajták eltérő aránya okozta.

A csoport mintái közül azok, melyekben volt HPMC hidrokolloid, tartalmaztak valamilyen fehérje extraktumot is (2. és 10. minta), míg ha az alkalmazott hidrokolloid guar gumi volt, akkor a mintában nem volt külön fehérje pótlás (4. minta).

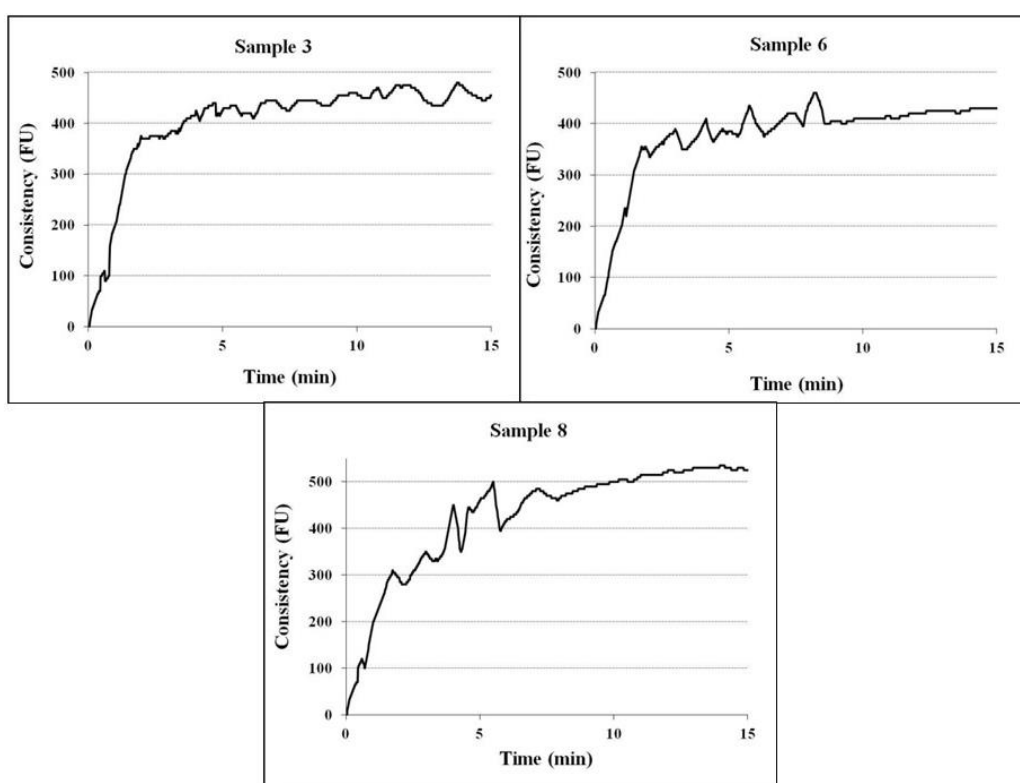
A második csoportba azok a minták kerültek (38. ábra), melyeknél a rövid téztakialakulási időt követően hosszú stabilitás következett alacsony ellágyulással (7. és 12. minta). Ezekre a mintákra jellemző, hogy csupán a 250 FU körüli értéket tudták elérni maximumként, és további vízadagolás hatására a tésták ellágyultak.

A 2. csoportba tartozó két minta hasonló tulajdonságokkal bír, de az összetételük eltér egymástól. A 7. minta kukoricakeményítőt tartalmazott szójafehérjével és guar gumi hidrokolloiddal, a 12. minta nagyrészt pszeudocereália alapú (kölesliszt), fehérje és hidrokolloid pótlás nélküli keverék. Fontos kiemelni, hogy HPMC-t vagy guar gumit ugyan nem tartalmazott a 12. minta, azonban a vizsgált minták közül ennek volt a legmagasabb a rosttartalma (13,7 g / 100 g liszt), és a többi keveréktől eltérően kukoricakeményítő vagy rizsliszt nélküli. A hasonlóan magas rosttartalmú 1. minta (12 g / 100 g liszt) hidrokolloidok segítségével tápióka keményítő jelenlétében magasabb konzisztencia értéket tudott elérni, de nagyobb mértékű ellágyulással.



38. ábra: A 2. csoportba tartozó minták farinográfos görbéi

A harmadik csoportba azok a minták kerültek, melyek 450-550 FU értéket értek el, de a C_{BL} mintához képest szignifikánsan hosszabb idő alatt, és melyeknél nem volt ellágyulás (39. ábra). Ezek a minták (3., 6. és 8. minta) a C_{RL} -hez hasonló farinográf görbét adtak, de csak a 3. és 6. minta alapanyaga volt rizsliszt, a 8. minta csak kukoricakeményítőt, kukoricalisztet és burgonyapelyhet tartalmazott. A 3. és 6. mintákban közös, hogy tartalmaztak a rizsliszt mellett burgonyakeményítőt valamint hidrokolloidot. A farinográfos görbék alapján a rizsliszt-burgonyakeményítő kombinációban nincs jelentős különbség abban, hogy HPMC-t vagy guar gumit tartalmaz a rendszer. A harmadik a csoportba tartozó minták egyike sem tartalmazott fehérje kivonatot.



39. ábra: A 3. csoportba tartozó minták farinográfos görbéi

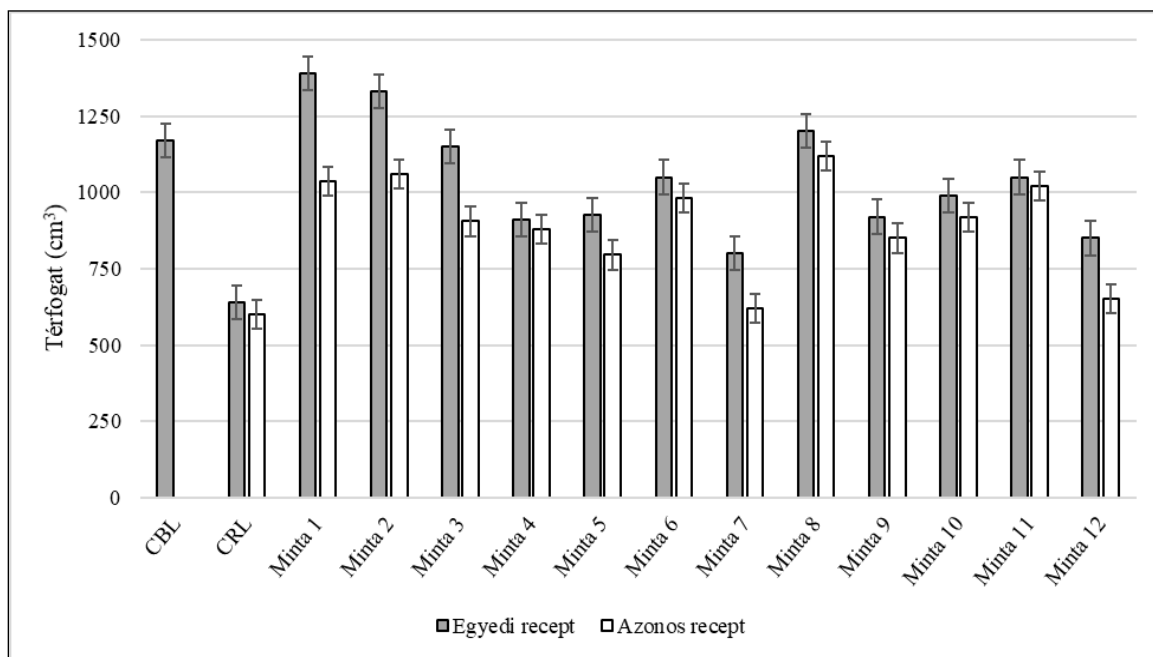
4.2.2 Sütési próba

A sütési próba eredményeit és azok szórását a 40. ábra mutatja be. A kontroll minták eredményei megegyeznek a szakirodalomban korábban publikált eredményekkel (NUNES et al., 2009). A C_{RL} kontroll minta esetében a két különböző receptúra használata nem mutatott szignifikáns ($p < 0.05$) különbséget a kapott végeredmények között.

Jelentős különbséget tapasztaltam az alkalmazott receptúrák végeredményei között az 1, 2, 3, 5, 7 és 12-es minták esetében. Minden esetben az egyedi receptúra és elkészítési mód mutatott jobb eredményt az egységesített receptúrához képest. Az említett minták a farinográf eredmények szerinti csoportosítás mindhárom kategóriájában megtalálhatóak, ezért nem állapítható meg, hogy a sütési próba eredményeiben található különbség csak az egyik csoportra lenne jellemző.

Az sem állapítható meg, hogy az eltérést egy adott összetevő jelenléte okozta volna. A minták összetevőikben nagymértékben különböznek, nem volt kimutatható összefüggés az eredmények és az összetevők között.

Fontos azonban kiemelni, hogy a kereskedelmi forgalomban kapható gluténmentes lisztekből készült kenyerek harmada elérte, vagy meg is haladta a C_{BL}-ből készült kenyér térfogatát (1, 2, 3 és 8-as minta). A C_{RL}-ből készült kenyérnél minden más minta lényegesen jobban szerepelt az egyedi elkészítési leírását követve.



40. ábra: Sütési próba eredményei a kereskedelmi forgalomban kapható és a kontroll lisztekből készült minták esetén

4.3. Új lisztkeverék optimalizálása

4.3.1. A felhasznált anyagok szemcseméret-eloszlásának vizsgálata

A Fritsch műszerrel történt mérések eredményeit a 14. táblázat foglalja össze.

14. táblázat: A fejlesztéshez felhasznált alapanyagok és búzalisztek átlagos szemcsemérete

Anyag	Átlag (μm)	Szórás (μm)
Xantán	103	28,33
HPMC	196	32,78
Kukoricakeményítő	20,9	15,3
Amarant liszt	190,3	95,52
Hajdina liszt	152,91	102,72
Búzaliszt	70,51	10,94
Teljes kiőrlésű búzaliszt	194,9	113,67
Gluténmentes lisztkeverék	42,15	19,6

Az adatokból látható, hogy a kukoricakeményítő rendelkezik a legkisebb átlagos szemcsemérettel, ami megfelel a szakirodalmi adatoknak (BELORIO et al., 2019, de la HERA et al., 2013). A kisebb átmérő miatt a tészta kialakulása gyorsabb, a keményítőszemcsék sütés során gyorsabban duzzadnak, ami a siker fehérjék hiánya mellett hátrányosan hat a tészta stabilitására és gáztartó képességére. Ez fontos indoka annak, hogy miért van szükség hidrokolloidokra, fehérje pótlásra és rostra, melyek javítják a tészta reológiai tulajdonságait. A teljes kiőrlésű búzaliszt illetve a pszeudocereáliák átlagos mérete erősen szignifikánsan nagyobb ($p < 0.01$) a gluténmentes lisztkeveréknél, illetve az abban használt alapanyagoknál. COTOVANU (2020) mérései alapján amarant liszt esetén 150 μm feletti szemcseméret csökkenti a tézszakialakuláshoz szükséges időt, valamint lisztmennyiségre számítva 5 %-os adagolásnál a 200 μm vagy afeletti átmérő a tészta stabilitását is jelentősen növeli búzaliszt alapú tésztáknál. A hidrokolloidok mért adatai megfelelnek a szakirodalmi közlésekben szereplőkkel. A xantán esetén a kisebb részecskeméret gyorsabban hidratálódik, azonban fogékonyabb a csomósodásra (PHILLIPS és WILLIAMS, 2021), emiatt különösen fontosak a jól megválasztott dagasztási paraméterek (vízadagolás mértéke, dagasztás sebessége és ideje).

4.3.2. Farinográfós mérések és optimalizálás

Az előzetes méréseket követően felállított kísérletterv (DoE) alapján elvégzett mérések során a 15. táblázatban található eredményeket kaptam. Erre lineáris modellt illesztettem, azonban a kapott eredmények azt mutatták, hogy a különböző anyagok összefüggésére nem illeszthető kellő pontosságú lineáris modell egyik vizsgált paraméter esetében sem (Kialakulás – $R^2 = 0,16$;

Stabilitás – $R^2 = 0,29$; Ellágyulás – $R^2 = 0,18$). Ezek alapján nem-lineáris modell illesztését végeztem el, melynek eredményei az 4.3.3-4.3.5. fejezetben találhatók.

15. táblázat: A kísérletterv alapján elvégzett farinográfos mérések eredményei azonos nedvességtartalmú nyerstészták esetén

	Minta	Lisztkeverék (%)	HPMC (%)	Xantán (%)	Kialakulás (min)	Stabilitás (min)	Ellágyulás (FU)	Konzisztencia (FU)	Vízfelvétel (%)
Fehérkenyér	1	100	0	0	17,1	0,1	23	300	70
	2	98,5	0	1,5	0,9	0,1	75	403	67,6
	3	97	0	3	19,2	0,7	28	459	64
	4	98,5	1,5	0	0,7	0	213	559	74,5
	5	97	1,5	1,5	3,5	0,1	130	419	68
	6	95,5	1,5	3	13	0	145	495	69,9
	7	97	3	0	0,6	0,1	228	614	77,9
	8	95,5	3	1,5	1,7	6,4	26	339	76
	9	94	3	3	5,3	0	220	524	70,6
Barnakenyér	10	100	0	0	19,1	0,9	35	419	68
	11	98,5	0	1,5	7,6	0,2	22	470	64,3
	12	97	0	3	18,8	1,2	25	526	65,7
	13	98,5	1,5	0	0,8	0	180	531	75,8
	14	97	1,5	1,5	0,7	0,1	142	435	68,4
	15	95,5	1,5	3	3,1	0,2	132	423	68,1
	16	97	3	0	0,6	0	175	581	77
	17	95,5	3	1,5	0,8	0	238	476	69,4
	18	94	3	3	11,9	0	151	476	69,4

4.3.3. Tésztakialakulási idő vizsgálata

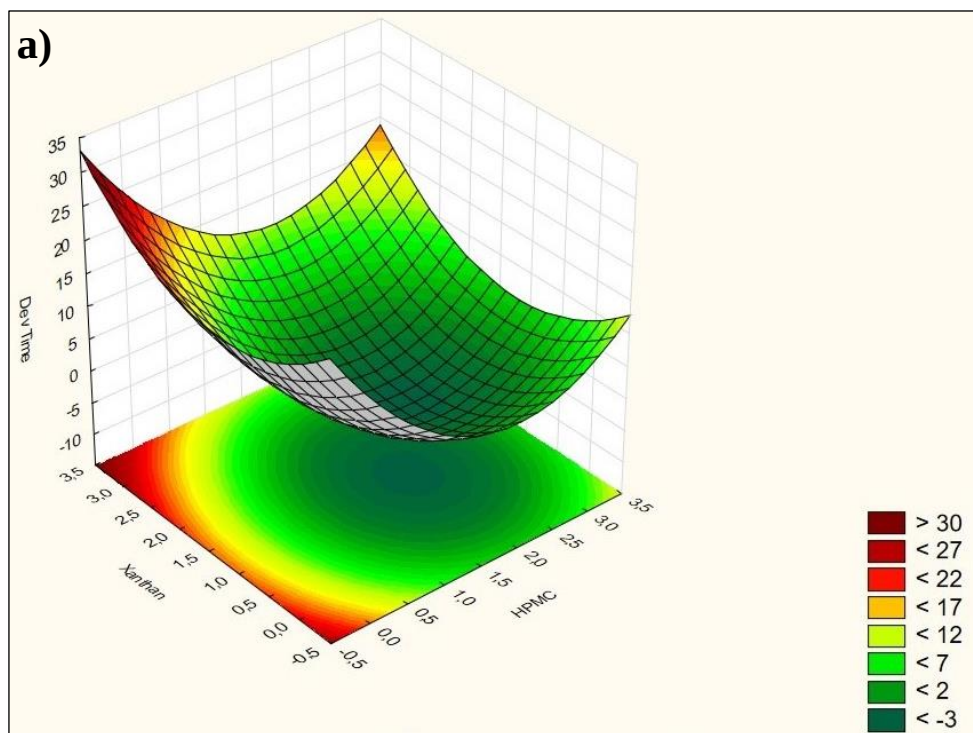
A DT-re vonatkozó összesített eredmények alapján (16. táblázat) jól illeszkedő modellt sikerült illeszteni a mérési pontokra ($R^2 = 0,85$) barnakenyér liszt esetén, míg a fehérkenyér lisztnél az $R^2=0,71$ volt az illesztett modellnél. A hidrokolloidok közül a HPMC volt szignifikáns ($p<0,05$) hatással, ami az előzetes méréseknek és szakirodalmi adatoknak megfelelő eredmény (SAHIN et al., 2020).

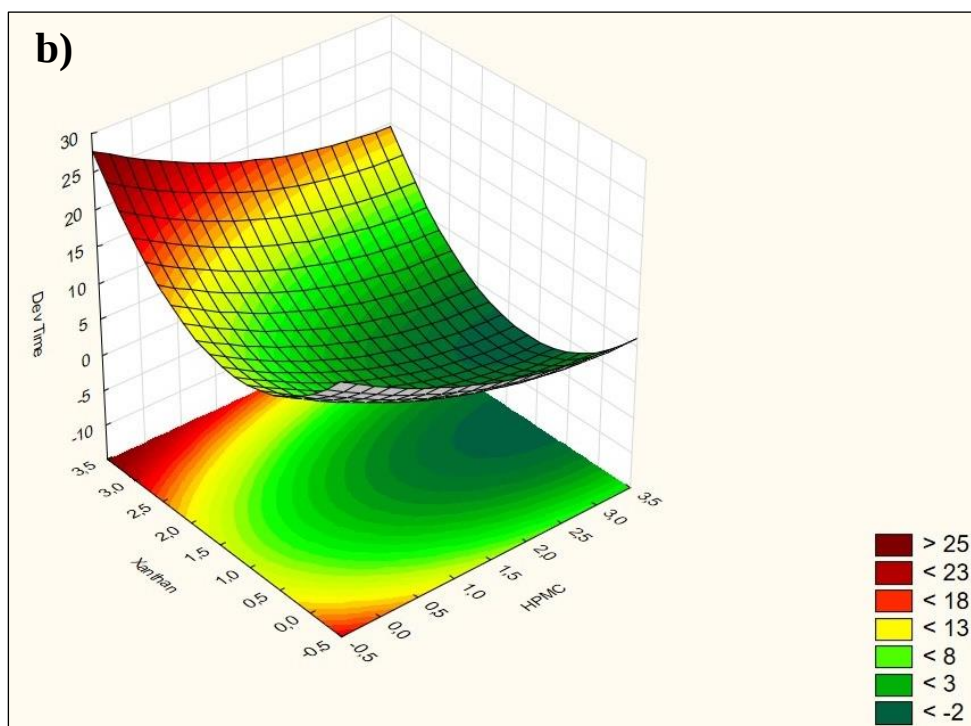
Az illesztett modell Surface plot diagramjai által láthatóvá váltak, hogy a hidrokolloidok kombinációi milyen hatást váltanak ki (41. ábra) a kialakulási időre. Az ábrákból jól látható, hogy a pszeudocereáliák hatása érvényesült a barnakenyér liszt esetében (41.a ábra), mert az optimális tészta kialakulási időhöz kevesebb HPMC-re volt szükség azonos xantán mennyiség mellett.

16. táblázat: A kialakulási időre vonatkozó eredmények összegzése barnakenyér liszt esetén

Factor	Effect	Std.Err.	t(4)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	7,0444	1,408090	5,00284	0,007475	3,1350	10,95393	7,04444	1,408090	3,1350	10,95393
(1)HPMC (L)	-10,7333	3,449101	-3,11192	0,035805	-20,3096	-1,15709	-5,36667	1,724550	-10,1548	-0,57855
HPMC (Q)	-8,2667	2,987009	-2,76754	0,050458	-16,5599	0,02660	-4,13333	1,493504	-8,2800	0,01330
(2)Xanthan (L)	4,4333	3,449101	1,28536	0,268040	-5,1429	14,00957	2,21667	1,724550	-2,5715	7,00479
Xanthan (Q)	-6,0167	2,987009	-2,01428	0,114240	-14,3099	2,27660	-3,00833	1,493504	-7,1550	1,13830

Ennek háttérében a hajdinaliszt és amarantliszt fehérjéi állnak, melyek hidrokolloidokkal és borsófehérjével alkotott szerkezete erősebb (MARIOTTI et al., 2009; TORBICA et al., 2010). Fehérkenyér esetében xantán nélkül is, 1,5-2%-os HPMC adagolásával 3 perc körüli kialakulási időt lehet elérni, ami a gyártási paraméterek tekintetében ideálisnak mondható (41.b ábra).





41. ábra: Hidrokolloidok kombinációinak hatása a DT-re (a: barnakenyér liszt; b: fehérkenyér liszt)

4.3.4. Tészta stabilitásának vizsgálata

A tészta stabilitására vonatkozó eredmények (17. táblázat) alapján szintén jól illeszkedő ($R^2 = 0,78$) modellt sikerült illeszteni az adatokra 95%-os konfidencia szint mellett a barnakenyér lisztre, míg fehérkenyér esetén $R^2=0,56$. Ebben az esetben is, ahogy a tészta kialakulási idejének vizsgálatok a HPMC volt szignifikáns hatással ($p<0.05$) mindkét esetben, és a fehér- valamint barnakenyér lisztek stabilitása eltért egymástól azonos hidrokolloid mennyiség mellett.

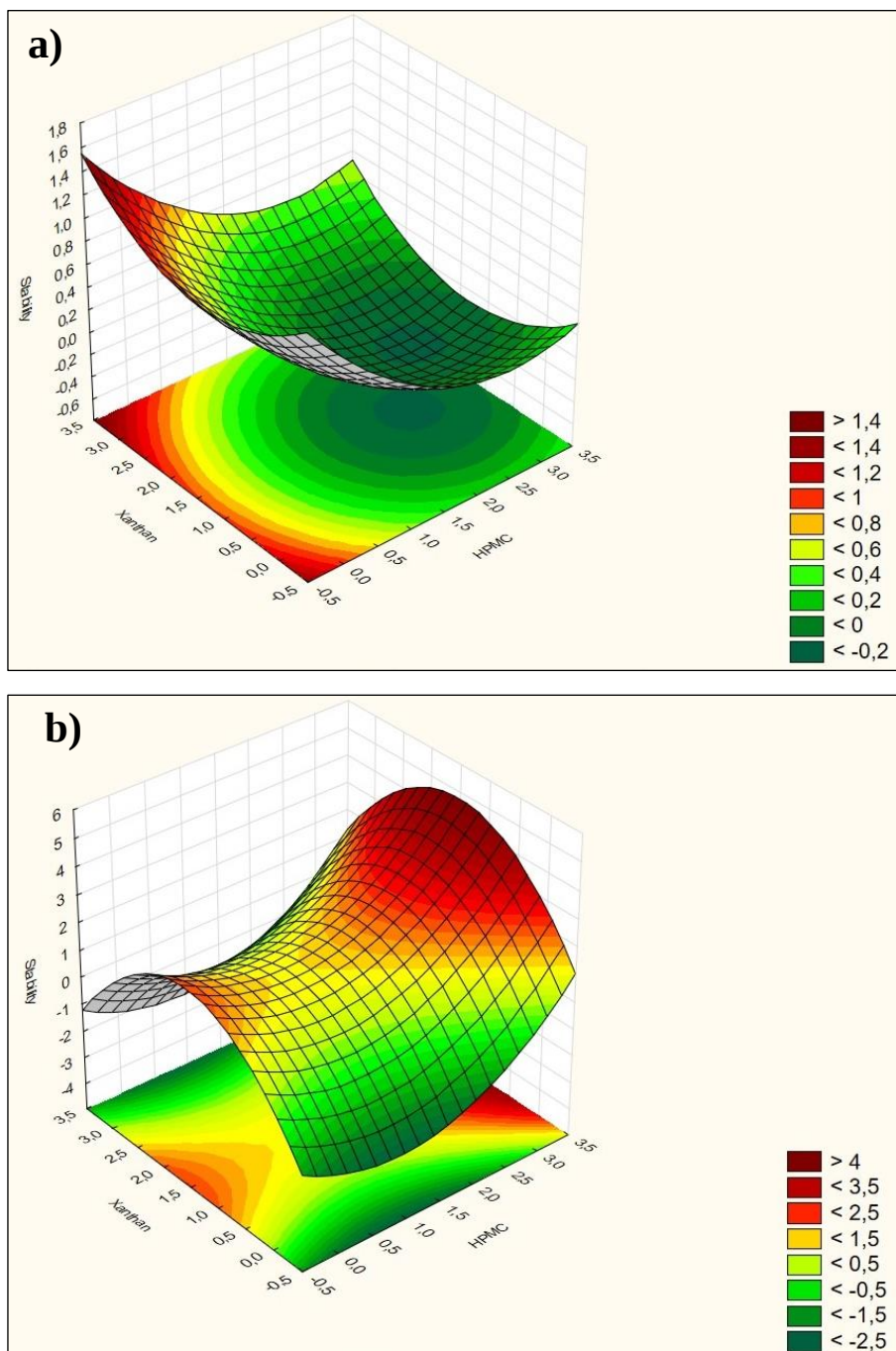
17. táblázat: A tészta stabilitására vonatkozó eredmények összegzése barnakenyér liszt esetén

Factor	Effect	Std. Err.	t(4)	p	-95, % Cnf. Limt	+95, % Cnf. Limt	Coeff.	Std. Err. Coeff.	-95, % Cnf. Limt	+95, % Cnf. Limt
Mean/Interc.	0,288889	0,097816	2,95340	0,041828	0,01731	0,560469	0,288889	0,097816	0,017309	0,560469
(1)HPMC (L)	-0,766667	0,239598	-3,19980	0,032907	-1,43190	-0,101435	-0,383333	0,119799	-0,715949	-0,050717
HPMC (Q)	-0,283333	0,207498	-1,36547	0,243852	-0,85944	0,292774	-0,141667	0,103749	-0,429721	0,146387
(2)Xanthan (L)	0,166667	0,239598	0,69561	0,524972	-0,49857	0,831899	0,083333	0,119799	-0,249283	0,415949
Xanthan (Q)	-0,283333	0,207498	-1,36547	0,243852	-0,85944	0,292774	-0,141667	0,103749	-0,429721	0,146387

Az illesztett modell Surface plot diagramjai alapján (42. ábra) látható, hogy barnakenyér esetében a minél alacsonyabb HPMC adagolás segítette a tészta stabilitását, a xantán szintjétől függetlenül. Ezzel ellentétben a xantán már kis mennyiségben is hatékonyan növelte a stabilitást (42.a ábra), annak növekvő mennyisége nem mutatott hatást a stabilitásra. TORBICA és munkatársai (2010) hántolt és hántolatlan hajdinalisztet használtak gluténmentes kenyér készítéséhez, és megállapításaik szerint a hántolt hajdinaliszt erősebb fehérje szerkezetet biztosít,

azonban mindét esetben 10% fölötti használat csökkenti a tészta stabilitását és növeli a tésztakialakulási időt. Fontos különbség, hogy Torbica munkájával ellentétben nem rizslisztet, hanem kukoricakeményítőt használtam, és a hajdinaliszt aránya 5% volt.

Fehérkenyér esetén (42.b ábra) a minél magasabb HPMC adagolás eredményezett a xantán 1-2%-os adagolása mellett nagyobb stabilitást. Az így kapott eredmények alapján a tészta stabilitása jelentősen nőtt a barnakenyérhez képest, és a modell alapján elérheti a búzaliszt stabilitását (35. ábra).



42. ábra: A hidrokolloidok kombinációinak hatása a stabilitásra

(a: barnakenyér liszt; b: fehérkenyér liszt)

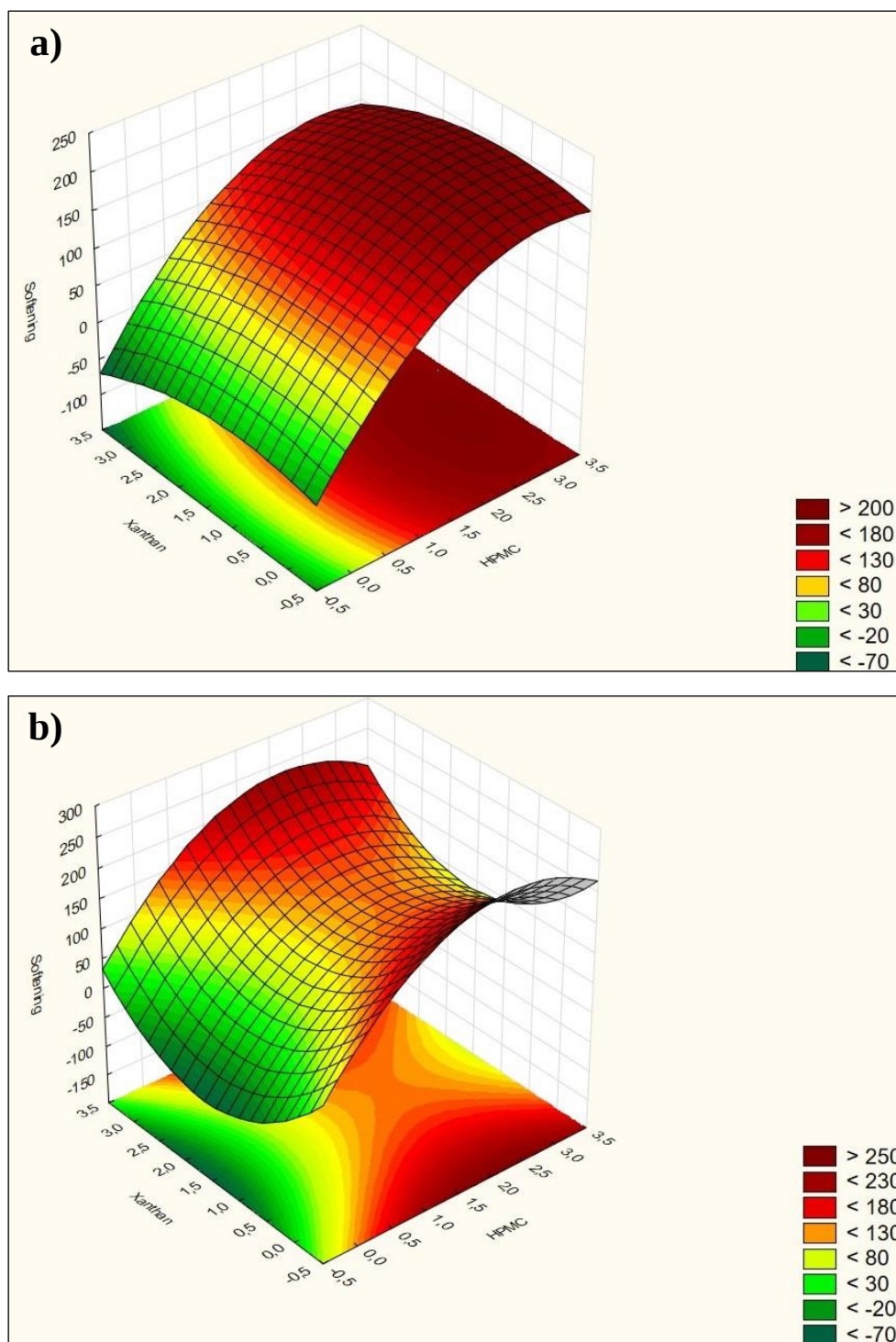
4.3.5. Tészta ellágyulásának vizsgálata

A tészta ellágyulását (Softening) leíró eredmények (18. táblázat) alapján szoros összefüggést mutató ($R^2 = 0,92$) modellt sikerült illeszteni az adatokra 95%-os konfidencia szint mellett barnakenyér liszt esetén, míg fehérkenyér liszt esetén a modell illeszkedése nem volt ilyen szoros ($R^2=0,62$). Korábbi publikációk alapján elmondható, hogy a kukoricakeményítő tartalom emelése növeli az ellágyulást (TORBICA et al., 2010, WOJCIK et al., 2021).

18. táblázat: A tészta ellágyulására vonatkozó eredmények összegzése barnakenyér liszt esetén

Factor	Effect	Std.Err.	t(4)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	122,2222	10,09461	12,10767	0,000267	94,1951	150,2494	122,2222	10,09461	94,1951	150,2494
(1)HPMC (L)	160,6667	24,72665	6,49771	0,002894	92,0145	229,3189	80,3333	12,36333	46,0072	114,6594
HPMC (Q)	43,6667	21,41391	2,03917	0,111048	-15,7879	103,1212	21,8333	10,70696	-7,8939	51,5606
(2)Xanthan (L)	-27,3333	24,72665	-1,10542	0,330990	-95,9855	41,3189	-13,6667	12,36333	-47,9928	20,6594
Xanthan (Q)	17,6667	21,41391	0,82501	0,455724	-41,7879	77,1212	8,8333	10,70696	-20,8939	38,5606

Az illesztett modell Surface plot diagramjai alapján (43. ábra) látható, hogy barnakenyér esetében (43.a ábra) a HPMC szintjének emelésével nőtt az ellágyulás mértéke. Ezzel szemben a xantán mennyiségi változása a modell alapján nem befolyásolta a nyerstészta ellágyulását. A fehérkenyér liszt esetében (43.b ábra) csak HPMC-t tartalmazó rendszerek ellágyulása nagy, csakúgy, mint a nagyobb mennyiségű xantánt tartalmazó rendszerekben. Az ideális mértékű ellágyuláshoz (35. ábra) az illesztett modellek alapján 0-0,5% HPMC adagolása mellett lehetséges mind a fehérkenyér liszt, mind a barnakenyér liszt esetén, függetlenül a xantán mennyiségétől. A lisztkeverék árának csökkentése érdekében érdemes a xantán szintjét is alacsonyan hagyni.



43. ábra: Az alapanyagok kombinációinak hatása az ellágyulásra (a: barnakenyér liszt; b: fehérkenyér liszt)

4.3.6. A tészta vízfelvételének vizsgálata

A farinográfos mérések során fix paraméterként a nyerstészta nedvességtartalma került meghatározásra (14%), melynek a sütőiparban gépi feldolgozhatóság szempontjából van jelentősége. Mivel a lisztkeverékek eltérő arányban tartalmaztak hidrokolloidokat, melyek

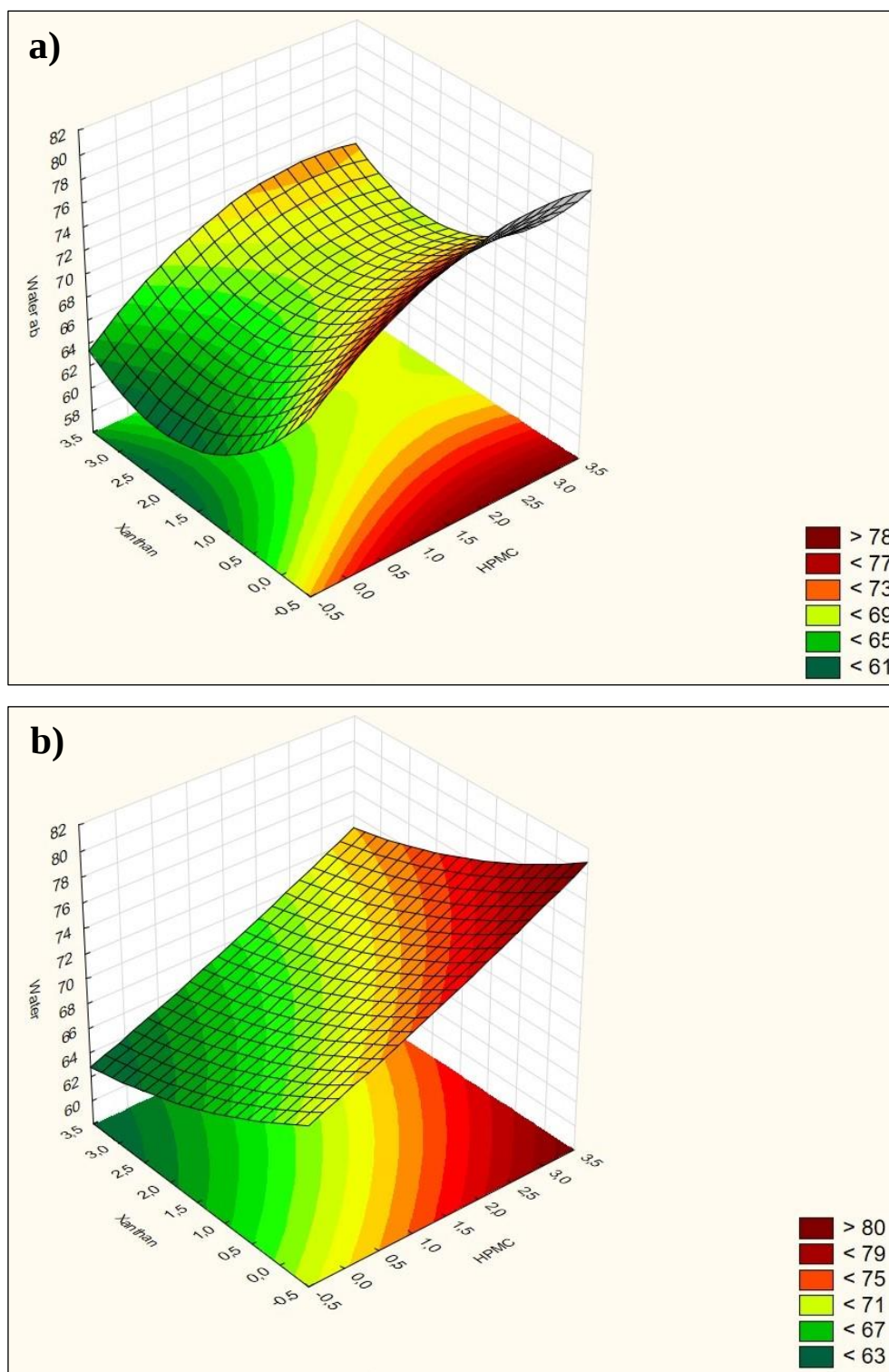
nagymértékben befolyásolják a tészta vízfelvevő képességét (2.3.3. fejezet), ezért a vizsgált mintáknál is eltérő volt a vízfelvétel (19. táblázat).

19. táblázat: A tészta vízfelvételére vonatkozó eredmények összegzése barnakenyér liszt esetén

Factor	Effect	Std.Err.	t(4)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	69,56667	0,530374	131,1654	0,000000	68,09411	71,03922	69,56667	0,530374	68,09411	71,03922
(1)HPMC (L)	5,93333	1,299145	4,5671	0,010283	2,32633	9,54034	2,96667	0,649573	1,16316	4,77017
HPMC (Q)	1,80000	1,125093	1,5999	0,184878	-1,32376	4,92376	0,90000	0,562546	-0,66188	2,46188
(2)Xanthan (L)	-5,86667	1,299145	-4,5158	0,010693	-9,47367	-2,25966	-2,93333	0,649573	-4,73684	-1,12983
Xanthan (Q)	-3,30000	1,125093	-2,9331	0,042682	-6,42376	-0,17624	-1,65000	0,562546	-3,21188	-0,08812

A tészta vízfelvételét (water absorption) leíró modell barnakenyér liszt esetén szoros összefüggést mutatott ($R^2=0,93$), ahogy a fehérkenyér liszt esetén is ($R^2=0,90$). Szignifikáns hatással mindkét lisztkeverék esetén a HPMC és a xantán bírt. Kereszteffektust nem mutatott az illesztett modell.

A modell Surface plot diagramjai alapján (44. ábra) elmondható, hogy barnakenyér liszt esetén a HPMC mennyiségének növelése szignifikánsan emeli a vízfelvételt alacsony xantán szint mellett (44.a ábra). A xantán mennyiségének növelése HPMC adagolás nélkül pedig a vizsgált modell-rendszerben a legalacsonyabb vízfelvételt mutatja. Fehérkenyér liszt esetén (44.b ábra) a HPMC mennyiség növelése alacsony xantán szint mellett magasabb vízfelvételhez vezet, de a xantán szint emelkedésével a vízfelvétel csökken. Xantánt nézve, HPMC nélküli rendszerben magasabb xantán adagolásnál mutatta a rendszer az alacsonyabb vízfelvételt, ami betudható annak, hogy a xantán gélt képez a keményítő felületén (ellentétben a HPMC-vel), így gátolja a keményítők vízmegkötését és duzzadását (HORSTMANN et al., 2018).



44. ábra: Az alapanyagok kombinációinak hatása a vízfelvételre (a: barnakenyér liszt; b: fehérkenyér liszt)

4.3.7. Végső lisztkeverék tulajdonságai

Összességében elmondható, hogy egy jó minőségű, ipari környezetben (sütőiparban használt gépekkel) használható kenyértészta esetében minden paraméter (tésztakialakulási és stabilitási idő,

ellágyulás, vízfelvétel) fontos, egyiket sem lehet figyelmen kívül hagyni vagy háttérbe szorítani. Ennek okán az optimalizálás során kapott modell-egyenletek segítségével egy predikciós szimulátort hoztam létre a két lisztkeverékre. Az így kapott Excel makró lényege, hogy egy felhasználóbarát, egyszerűen kezelhető és értelmezhető kezelőfelület segítségével a termékfejlesztő szabadon megválaszthatja a felhasznált hidrokolloidok mennyiségét a sárgával jelölt mezőkben (0-3% között), és a szimulátor megadja a paraméterek várható eredményét a kék mezőkben (45. ábra). A szimulátorba táplált egyenletek módosíthatóak és számuk bővíthető, ezért egy új alapanyag hozzáadása, vagy a meglévő alapanyagok változásakor (például ha megváltozik a beszállító, és kissé eltérő tulajdonságú alapanyag kerül az üzembe) könnyen szabályozható.

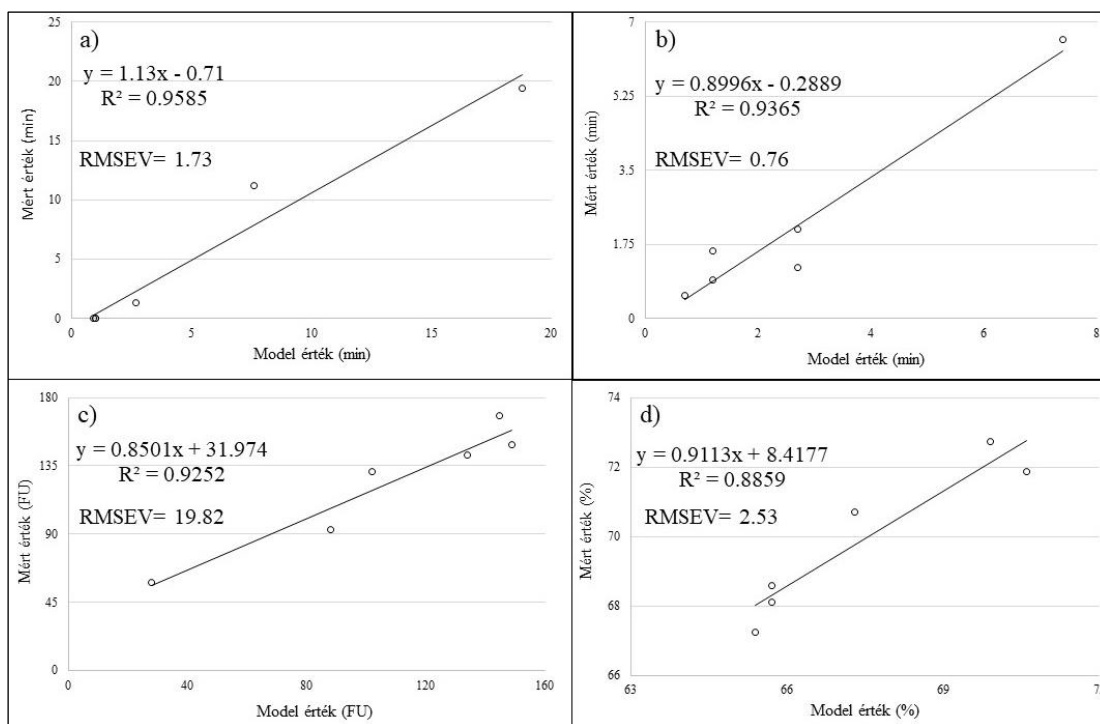
A predikciós modell segítségével különböző keveréket alkottam, melyeket a modell validációjához használtam (7. melléklet). A minták farinográfus (mért érték) és a modell előzetes értékei alapján (modell értékek) RMSEV értéket számítottam, melyek a 46. ábrán láthatóak.

Alapliszt keverék (%)	96.6
HPMC (%)	0.8
Xantán (%)	2.6
SUM (=100)	100
Development time	6.7
Stability time	0.4
Softening	96.59
Water absorption	66.41

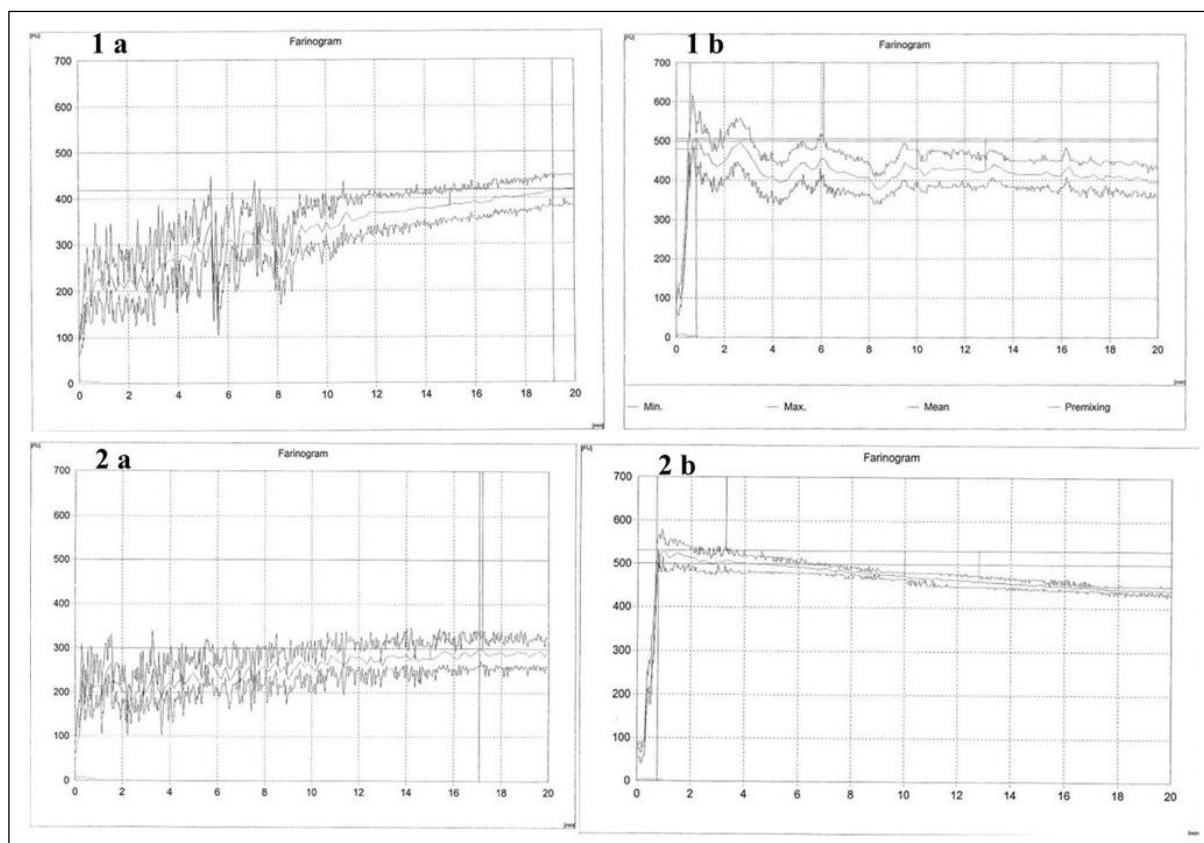
45. ábra: Az eredmények segítségével programozott predikciós Excel makró

A mérések és a validációk során kapott R^2 és RMSEV értékek alapján a modellt megfelelőnek ítéltam. Ezt követően a predikciós modell segítségével létrehozott barnakenyér lisztkeverék összetétele a következő: 97% alap lisztkeverék, 2% HPMC és 1% xantán, 68%-os vízfelvétel mellett. Ennek a keveréknek vizsgáltam a farinográfus görbáját, melynek képe a 47/1a. és 47/1b. ábrán látható.

A fehérkenyér lisztkeverék modell receptje 97.1% alap lisztkeverék, 1,45% HPMC és 1,45% xantán, 71%-os vízfelvétel mellett. Ennek a keveréknek vizsgáltam a farinográfus görbáját, melynek képe a 47/2a. és 47/2b. ábrán látható.



46. ábra: Validációs mérés eredményei (a: tészta kialakulási idő; b: stabilitás; c: ellágyulás; d: vízfelvétel)



47. ábra: A predikciós modell segítségével kapott lisztkeverékek farinográfos görbéi (1.a: barnakenyér liszt hidrokolloid nélkül; 1.b: barnakenyér liszt hidrokolloiddal; 2.a: fehérkenyér liszt hidrokolloid nélkül; 2.b: fehérkenyér liszt hidrokolloiddal)

A predikációs modell segítségével alkotott lisztkeverékek farinográfos görbéi (47. ábra) eltérnek a korábban mért gluténmentes lisztkeverékek görbéitől, és paramétereiben jobban megközelítik a búzaliszt tulajdonságait (20. táblázat).

A 47. ábrán látható keverékek (hidrokolloiddal és anélkül) és a referenciaként használt búzaliszt farinográfos görbéinek farinográfus által mért adatai a 20. táblázatban láthatóak.

20. táblázat: A fejlesztett lisztkeverékek és a referencia búzaliszt farinográfus értékei

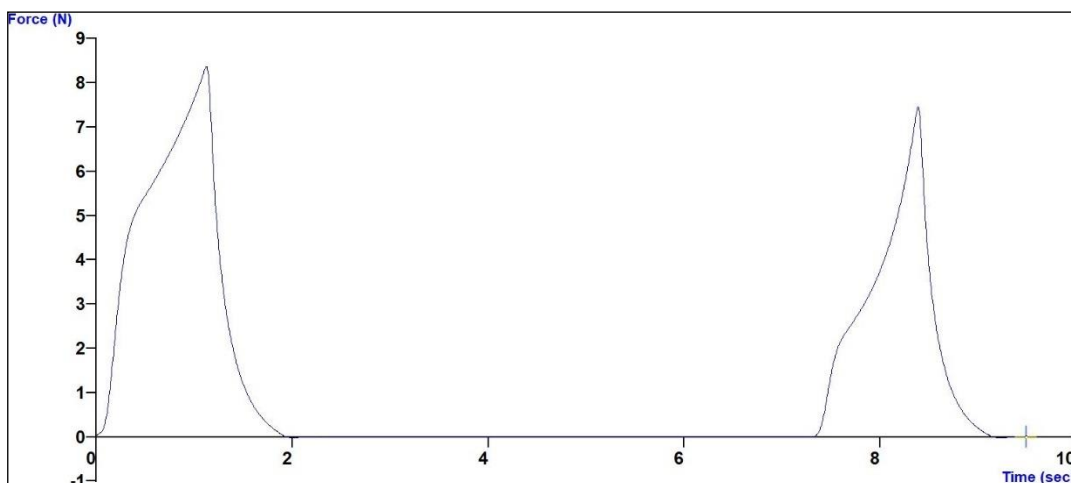
	Búzaliszt	Barnakenyér lisztkeverék		Fehérkenyér lisztkeverék	
		Hidrokolloid nélkül	Hidro-kolloiddal	Hidrokolloid nélkül	Hidro-kolloiddal
Konzisztencia (FU)	494	419	506	300	531
Tészta kialakulás (min)	3,5	19,1	0,9	17,1	0,8
Tészta stabilitás (min)	5,8	0,9	5,5	0,1	2,6
Ellágyulás (FU)	53	35	74	23	57
Vízfelvétel (%)	62,5	64,3	67,3	66,3	70,9

4.4. Gluténmentes kenyerek reológiai jellemzése

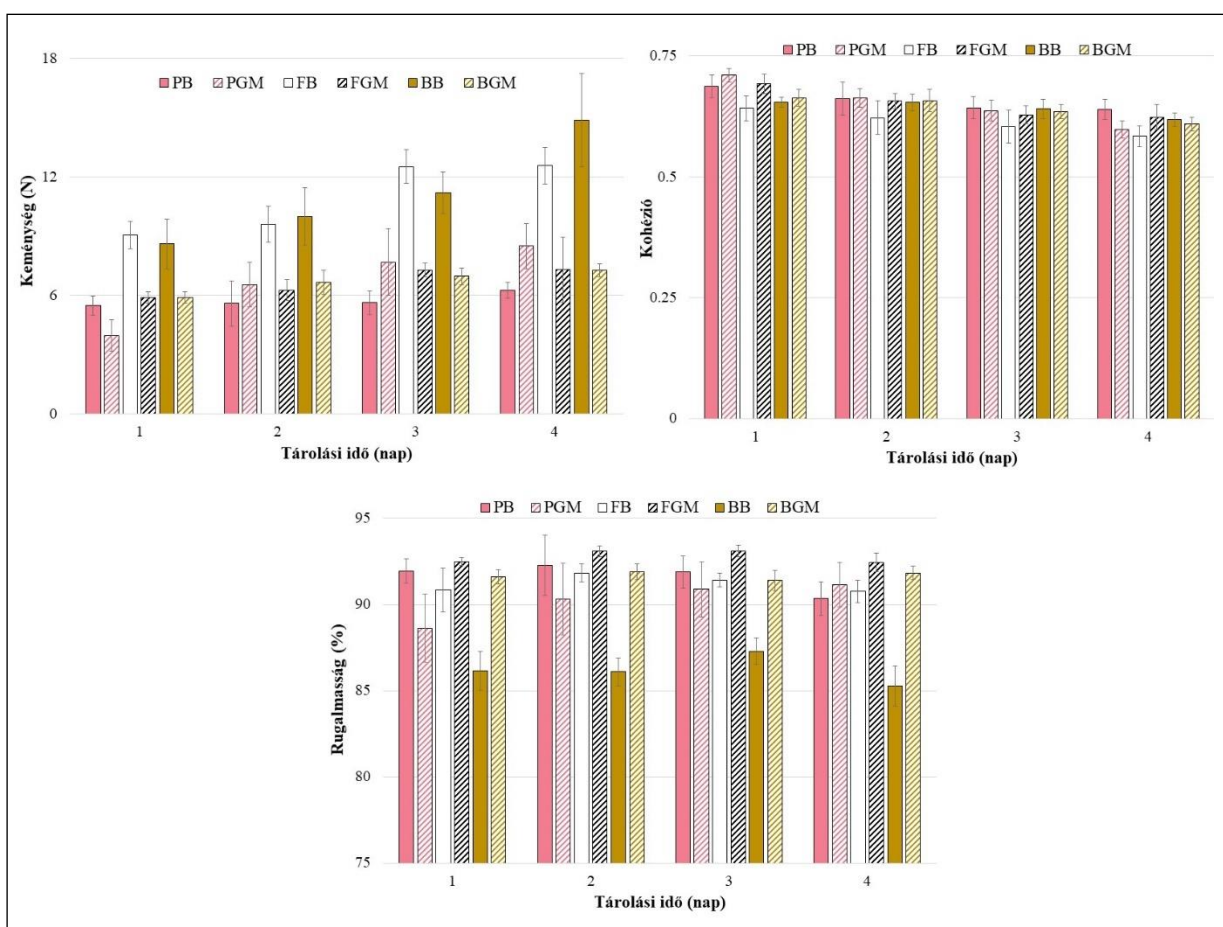
4.4.1. TPA eredmények

A fejlesztés eredményeként kapott lisztkeverékből formakenyeret valamint kézműves, vetett parasztkenyeret készítettem, majd ezeket használtam fel a TPA méréshez. A mérés megkezdése előtt a 3.8-as fejezetben említett módszert kellett validálni, hogy a gluténmentes kenyereknél alkalmazható-e. A próbamérések során kapott eredmények igazolták, hogy a kiválasztott beállítási paraméterekkel a vizsgált gluténmentes minták görbéi jól olvashatóak, alakjuk és lefutásuk megegyezik az előzetes elvárásokkal (48. ábra), azok statisztikai kiértékelése megvalósítható. Ezek alapján a TPA vizsgálatok során a különböző mintákon végig ezt a módszert alkalmaztam, gluténmentes és búzaliszt alapú termékeknél is.

A gluténmentes kenyereket fajtájuknak megfelelő kereskedelmi forgalomban kapható búzaliszt alapú termékekkel hasonlítottam össze 4 napos tárolási kísérlet során. A minták egyike sem tartalmazott tartósítószer, aktív csomagolóanyagot, védőgáz vagy vákuum csomagolást. A különböző kenyerekből 7-7 szelet mérésével kapott keménység (hardness), kohézió (cohesiveness) és rugalmasság (springiness) paraméterek változása a 49. ábrán látható.



48. ábra: TPA próbamérés eredménye



49. ábra: A tárolási kísérlet során kapott TPA mérési eredmények (PB: búzalisztes parasztkenyér; PGM: gluténmentes parasztkenyér; FB: búzalisztes fehérkenyér; FGM: gluténmentes fehérkenyér; BB: búzalisztes barnakenyér; BGM: gluténmentes barnakenyér)

A szakirodalmi adatoknak megfelelően a minták keménység értékei növekedtek a tárolási kísérlet során. A 8. számú mellékletben található ANOVA elemzés ($p < 0.05$) eredményeiből látható, hogy a gluténmentes fehér- és barna formakenyerek keménység értékei szignifikánsan

alacsonyabbak voltak a búzalisztes formakenyerekhez képest. A tárolási kísérlet adatai alapján kijelenthető, hogy nem csak a gluténmentes formakenyerek keménység értékei, de azok változása is lassabb ütemű és szignifikánsan kisebb mértékű is volt ($p < 0.05$).

Ezzel szemben a parasztkenyereknél a gluténmentes minta a 2. naptól kezdve nagyobb keménység értéket mutatott, annak ellenére, hogy az első napon még szignifikánsan alacsonyabb volt a búzalisztes termékhez képest. A két minta keménysége közötti érték a 4. napon lett ismét szignifikáns. A parasztkenyér keménységének változása gyorsabb ütemű és nagyobb mértékű volt a többi mintához képest. A 2. naptól a gluténmentes minták keménység értékei nem tértek el egymástól szignifikánsan.

A kohéziós értéknél a kenyérbélzet kívánt integritásához kellően magas értéket kell elérni. Gluténmentes kenyerek minőségével kapcsolatban az egyik leggyakrabban említett hiányosság a nem megfelelő kohézió, fogyasztás során fellépő morzsalékos, kellemetlen és olyakor fullasztó textúra (ONYANGO et al. 2011; NAQASH et al., 2017). A szakirodalmi publikációkban a gluténmentes kenyerek tárolási kísérlete során a vizsgált minták kohéziós értékeiben erősen szignifikáns csökkenést tapasztaltak ($p < 0.01$) már a 2. naptól fogva (MOORE et al., 2004; PACIULLI et al., 2016). Az általam készített kenyereknél is csökkenés figyelhető meg, azonban a gluténmentes barna forma – és parasztkenyerek a 3. napig nem tértek el szignifikánsan ($p < 0.05$) a búzalisztes megfelelőiktől. A fehér formakenyér esetében az 1. és a 4. napon a gluténmentes termék kohéziója szignifikánsan ($p < 0.05$) nagyobb volt.

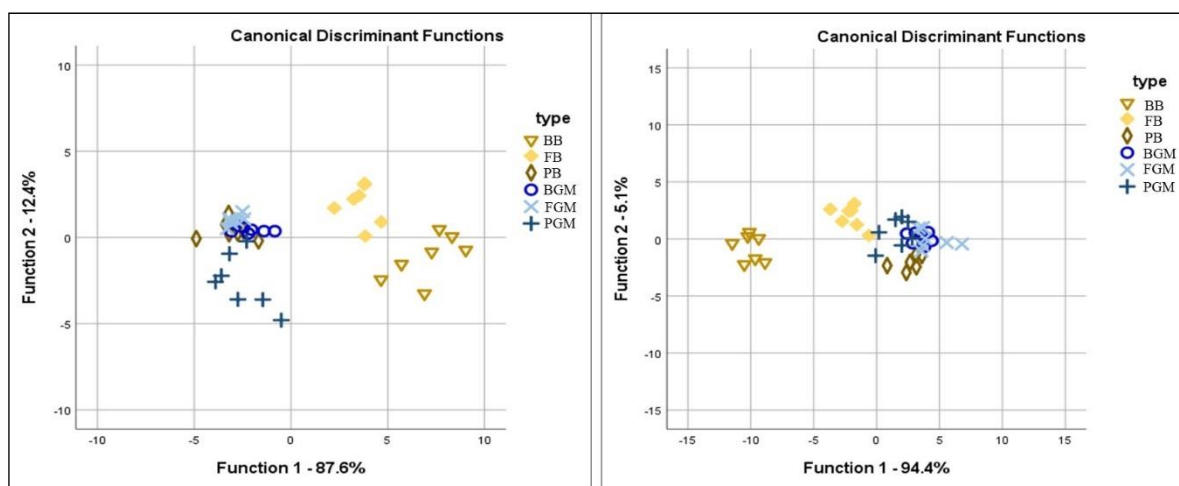
A gluténmentes formakenyerek nem tértek el szignifikánsan ($p < 0.05$) a búzalisztes parasztkenyértől a tárolási kísérlet során, mely jelentős különbség a korábban publikált eredményekhez képest (PACIULLI et al., 2016). A gluténmentes barna formakenyér a 4 tárolási nap alatt egyszer sem mutatott szignifikáns különbséget a búzalisztes barnakenyértől.

A kenyérbélzet rugalmasságát a termék frissességéhez kötik, és alacsony mért értékeknél a kenyér morzsalékos törésére lehet következtetni (MATOS és ROSELL, 2012). A tárolási kísérlet 2. napjától a gluténmentes formakenyerek szignifikánsan ($p < 0.05$) rugalmasabb értéket mutattak a búzalisztes társaikhoz képest (9. számú melléklet). A gluténmentes parasztkenyér keménysége folyamatosan növekedett, ezzel együtt a rugalmassága egyre javuló eredményeket mutatott. Ennek magyarázata az, hogy a kenyértészta kezdeti viszkozitása más, állaga lágyabb a formakenyerekhez képest. A tárolási kísérlet első napján a parasztkenyerek puhábbak voltak, ezen belül is a gluténmentes minta volt a legpuhább. A tárolás során a víztartalom változása a kezdeti képlékeny termékből egy szilárdabb, de egyre inkább rugalmasabb állagú terméket hozott létre.

A 4. napon minden gluténmentes kenyér rugalmasabb állagot mutatott a búzalisztes kenyereknél, formakenyerek esetén a különbség a 2. naptól kezdve szignifikáns ($p < 0.05$) volt. Az

adatok alapján a gluténmentes kenyerek mindegyike puha és rugalmas maradt, a kohéziójuk pedig 3 napig minden esetben egyenértékű a búzalisztes termékekével, barna formakenyér esetében a tárolási kísérlet minden napján.

A vizsgált kenyérminták TPA eredményei alapján LDA elemzés készült, melynek célja a búzaliszt alapú valamint a gluténmentes minták közötti hasonlóság/átfedés keresése volt (50. ábra). Az elemzés adataiból látható, hogy a gluténmentes minták átfedést mutatnak a 4 napos tárolási kísérlet során a búzaliszt alapú parasztkenyérrel (PB): az első napon a gluténmentes fehérkenyérrel, míg a második naptól kezdve a gluténmentes barnakenyérrel volt nagyobb az átfedés. A búzaliszt alapú formakenyerek a teszt során végig különálló csoportot alkottak, bár a 4. napra a búzaliszt alapú fehér formakenyér (FB) egyre jobban közelített a gluténmentes mintákhoz. A helyesen osztályozott minták aránya az első és a negyedik napon 78,57%-ról 71,43%-ra változott (9. melléklet), mely tovább erősíti a búzaliszt alapú és a gluténmentes minták közötti hasonlóságot.



50. ábra: A vizsgált kenyérminták TPA eredményei alapján készített LDA elemzés eredményei az 1. (bal oldalon) és a 4. napon (jobb oldalon) (PB: búzalisztes parasztkenyér; PGM: gluténmentes parasztkenyér; FB: búzalisztes fehérkenyér; FGM: gluténmentes fehérkenyér; BB: búzalisztes barnakenyér; BGM: gluténmentes barnakenyér)

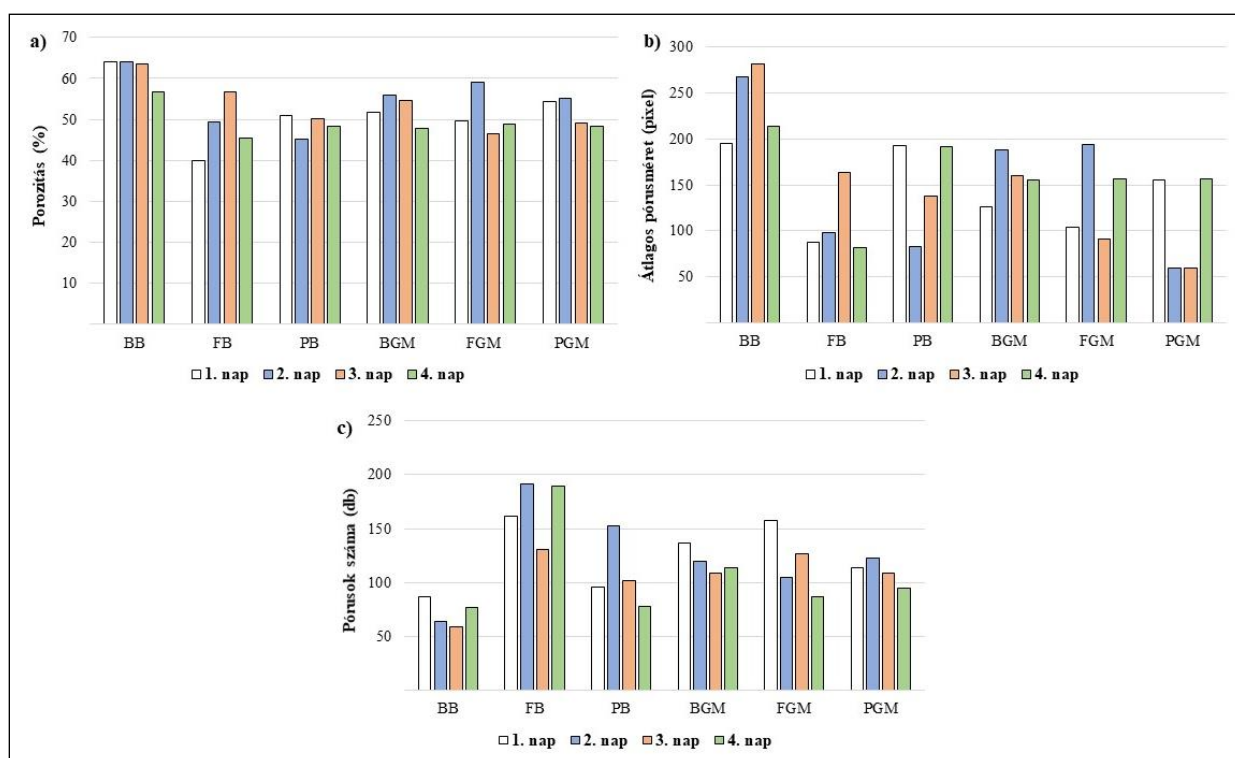
4.4.2. Porozitás vizsgálat

A vizsgált minták tárolási kísérlet során mutatott porozitás változásainak eredményét az 51. ábra foglalja össze. A porozitás az előzetes elvárásoknak megfelelően a tárolás első és utolsó napja között csökkent, kivéve a búzalisztes fehér formakenyér esetében. A minták nagy szórást mutattak, ami egybevág azzal, hogy a kenyérszeletek szerkezete nem homogén (MERETEI, 2012).

A 4 tárolási nap eredményeinek átlag értékeit alapul véve, az ANOVA elemzés szerint a búzalisztes barna formakenyér szignifikánsan ($p < 0.05$) magasabb porozitás mutatott minden

kenyérhez képest, míg a gluténmentes kenyerek nem mutattak szignifikáns eltérést egymástól, valamint a búzalisztes fehér – és a parasztkenyértől. Ugyan ez mondható el a pórusok átlagos méretéről is. A búzalisztes barnakenyér szignifikánsan különbözött ($p < 0.05$) a többitől, míg a gluténmentes termékek és a búzalisztes fehér – valamint a parasztkenyér között nem volt különbség. A prósok számát tekintve a búzalisztes fehérkenyér szignifikánsan eltért ($p < 0.05$) a többi mintától, valamint a búzalisztes és gluténmentes barnakenyerek között is szignifikáns különbség adódott.

Összességében az átlagos értékeket tekintve a gluténmentes termékek jellemzően együtt mozogtak a búzalisztes parasztkenyérrel, míg a búzalisztes barnakenyér kevesebb számú, de nagyobb pórusokat tartalmazott minden mintához képest.



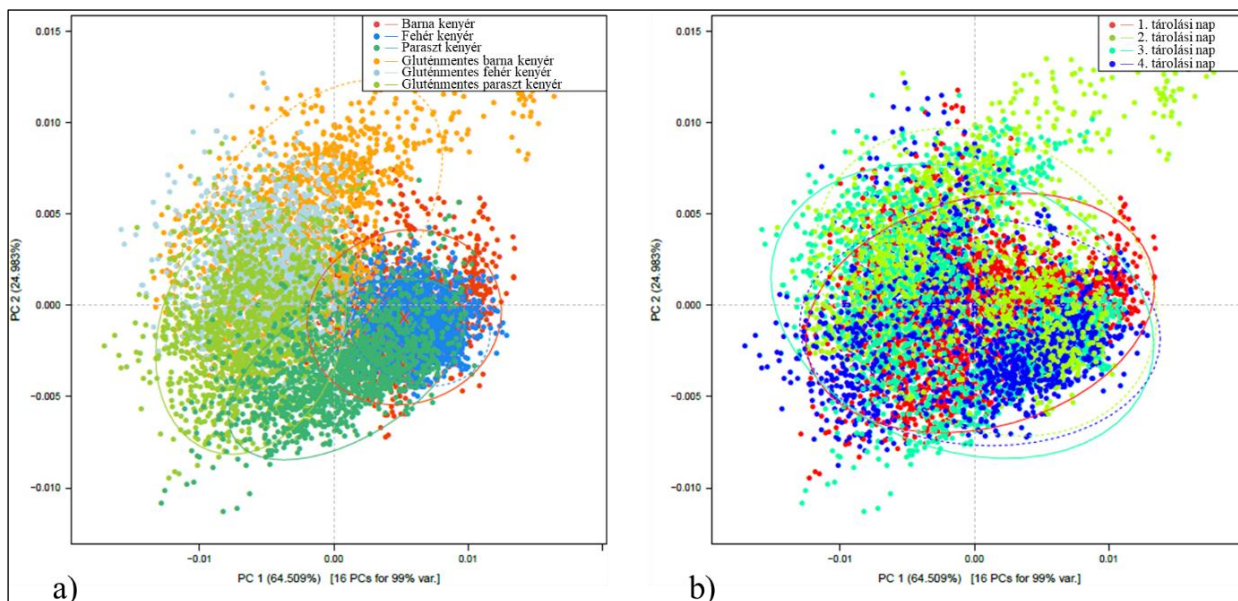
51. ábra: Porozitás értékek a tárolási kísérlet során (a: porozitás; b: átlagos prós méret; c: prósok száma; PB: búzalisztes parasztkenyér; PGM: gluténmentes parasztkenyér; FB: búzalisztes fehérkenyér; FGM: gluténmentes fehérkenyér; BB: búzalisztes barnakenyér; BGM: gluténmentes barnakenyér)

4.5. Hiperspektrális eredmények

Ebben a fejezetben először az előkezelt adatsoron, majd ezt követően a mintacsoportonként (kenyértípusonként) épített modellek eredményein mutatom be, hogy a szobahőmérsékleten tárolt kenyerekben bekövetkező változások milyen spektrális különbségeket eredményeztek, amelyek alapján előrejelezhető a kenyerek minőségi romlása, öregedése, ezáltal az eltarthatóság.

4.5.1 A kenyerek tárolása során bekövetkező változások nyomon követése főkomponens elemzéssel

A szobahőmérsékleten tárolt kenyerek NIR spektrumain végzett főkomponens elemzés eredményeit az 52. ábra szemlélteti a PC1 és a PC2 alapján. Az első két főkomponens a teljes variancia 89,49%-át írta le. A PCA modell építéséhez a következő hullámhosszak járultak hozzá leginkább: 1364, 1379, 1384, 1413, 1437, 1480, 1514, 1528, 1533 nm.

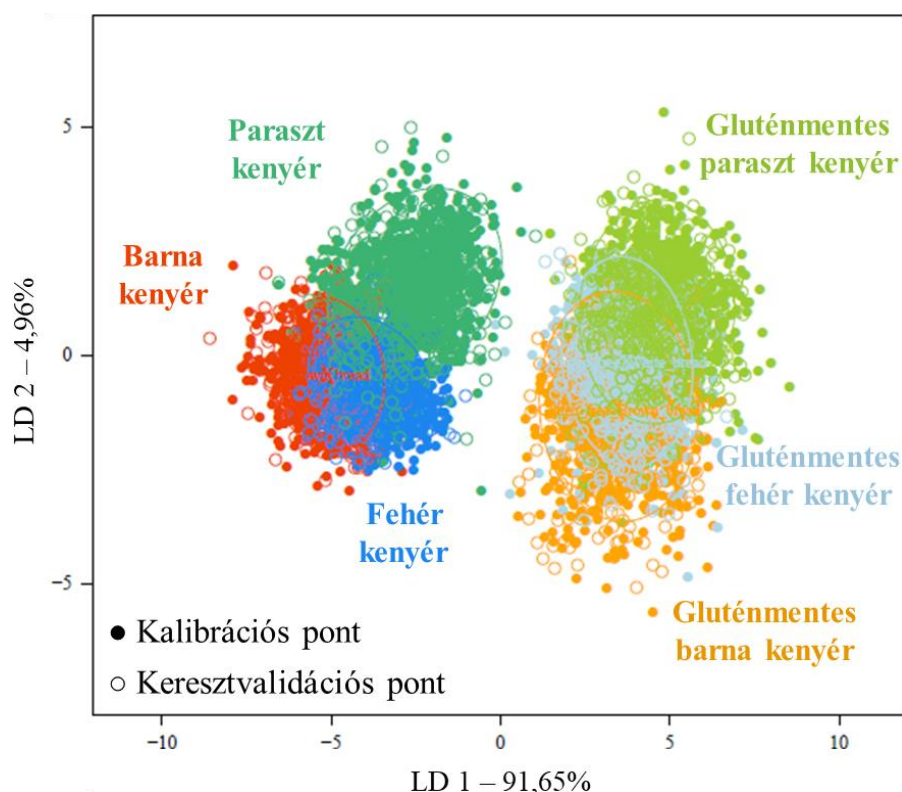


52. ábra: Kenyérminta spektrumok PCA eredményei kiugró érték kezelés, simítás és sgol-2-13-2 előkezelés után (N = 8390). a) Kenyértípusok szerinti score plot; b) Tárolási idő szerinti score plot

A kenyértípusok szerinti score plot alapján a búzaliszt alapú és a gluténmentes kenyerek némi átfedéssel, de elkülönülő tendenciát mutattak. A kenyerek elkülönülése leginkább a PC2 mentén volt leírható, a sorrend: parasztkenyér, fehérkenyér, barnakenyér (52.a ábra). Megvizsgálva, hogy a tárolás időtartama szerint miként csoportosulnak az egyes minták megállapítottam, hogy az adatpontok nagy átfedésben voltak és nem mutattak egyértelmű elkülönülési tendenciát (52.b ábra). Ez betudható annak, hogy hat különböző típusú kenyérre készült az elemzés. Ezek alapján arra a következtetésre jutottam, hogy érdemes a különböző kenyerekre felvett spektrumokra építeni az osztályozó és becselő modelleket. Így meghatározható, hogy melyek az adott értékelés szempontjából legmegfelelőbb spektrum előkezelési módszerek.

4.5.2 A kenyerek tárolása során bekövetkező változások nyomon követése lineáris diszkriminancia elemzéssel

A kenyértípus szerinti osztályozáshoz a teljes előkezelt adatkészletre épített LDA modellt és eredményeit az 53. ábra szemlélteti. Az ábra alapján megfigyelhető, hogy az első diszkrimináns változó mentén a búzaliszt alapú és a gluténmentes kenyerek mintapontjai egyértelműen elkülönülnek egymástól. A második diszkrimináns változó mentén az egyes kenyértípusok nagyobb átfedést mutattak, de a következő sorrendben elkülönülési tendenciát mutattak: barna-, fehér- és parasztkenyér.



53. ábra: Kenyértípus szerinti LDA eredmények kiugró érték kezelés, simítás és sgl-2-13-1 előkezelés után (N = 8390, NrPC = 30)

A 21. táblázat foglalja össze, hogy az adatkészleten végzett LDA milyen pontossággal különböztette meg az egyes kenyértípusokat. Az átlagos helyes osztályozás a kalibráció és a validáció során 76,84 és 76,54% volt. A legpontosabb osztályozás a fehér és a parasztkenyerek esetében volt.

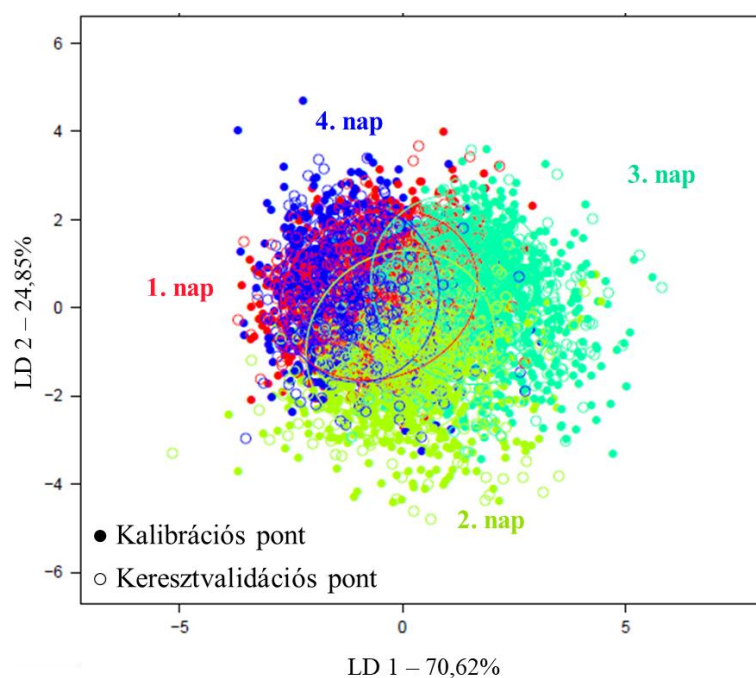
A tárolási idő szerinti osztályozáshoz a teljes előkezelt adatkészletre épített LDA modellt és eredményeit az 54. ábra szemlélteti.

21. táblázat: Kenyértípus szerinti osztályozás kiugró érték kezelés, simítás és sgol-2-13-1 előkezelések után (N= 8390, NrPC = 30) (1: Barnakenyér; 2: Fehérkenyér; 3: GM barnakenyér; 4: GM fehérkenyér; 5: GM parasztkenyér; 6: Parasztkenyér)

Mintacsoport		1	2	3	4	5	6	Átlagos helyes osztályozás
Kalibráció	1	79,15	7,48	0	0	0	5,72	76,84%
	2	19,67	90,25	0	0	0	7,9	
	3	0	0	65,03	22,21	5,69	0,07	
	4	0	0	29,15	60,96	14,94	0	
	5	0	0	5,82	16,69	79,37	0	
	6	1,18	2,26	0	0,15	0	86,31	
Validáció	1	79,26	7,76	0	0	0	5,72	76,54%
	2	19,67	89,84	0	0	0	7,86	
	3	0	0	64,86	22,94	6,02	0,07	
	4	0	0	29,36	60,12	15,17	0	
	5	0	0	5,79	16,8	78,81	0	
	6	1,07	2,4	0	0,15	0	86,35	

Az ábra alapján megfigyelhető, hogy az első és második diszkrimináns változó által határolt térben az egyes tárolási napokhoz tartozó mintapontok jelentősen átfednek, nincs egyértelmű csoportosulási trend. A 22. táblázat foglalja össze, hogy a teljes adatkészleten végzett LDA milyen pontossággal különböztette meg a különböző napokon rögzített spektrumokat. Az átlagos helyes osztályba sorolás a kalibráció és a validáció során 60,41 és 60,28% volt.

A 23. táblázat mutatja be, hogy a különböző típusú kenyerek tárolása során fellépő különbségek milyen pontossággal különböztethetők meg a NIR spektrumokkal. Az LDA eredményekben hasonlóság volt, hogy a legjobb osztályozó modelleket jellemzően csak simítás vagy simítást követő második derivált spektrum előkezelések alkalmazásával kaptam. A hat mintára az átlagos helyes osztályba sorolás modellépítésnél 78-85%, tesztelésnél 75-84% között volt. A kenyértípusonként épített osztályozás eredményeit az 55. ábra szemlélteti.



54. ábra: A vizsgált kenyérminták tárolási időtartam szerinti LDA eredmények kiugró érték kezelés, simítás és sgl-2-13-1 előkezelés után (N = 8390, NrPC = 30)

22. táblázat: Kenyérminták osztályozása tárolási idő szerint kiugró érték kezelés, simítás és sgl-2-13-2 előkezelések után (N = 8390, NrPC = 30)

	Pontosság	1. nap	2. nap	3. nap	4. nap	Átlagos helyes osztályozás
Kalibráció	1. nap	40,47	12,63	8,52	21,72	60,41%
	2. nap	15,03	61,32	10,77	12,37	
	3. nap	13,84	14,04	77,43	3,49	
	4. nap	30,65	12	3,29	62,42	
Validáció	1. nap	40,08	12,45	8,71	21,49	60,28%
	2. nap	15,3	60,97	10,55	12,39	
	3. nap	14,22	14,33	77,38	3,44	
	4. nap	30,4	12,26	3,36	62,68	

23. táblázat: Kenyérmenták tárolási nap szerinti osztályozása (GM: gluténmentes)

Kenyértípus	Spektrum előkezelés	NrPC	Átlagos helyes osztályba sorolás (%)	
			Kalibráció	Validáció
Barna formakenyér	sgol-2-13-2	30	78,18	75,79
GM barna formakenyér	sgol-3-9-0	25	80,32	79,68
Fehér formakenyér	sgol-2-13-2	29	82,23	81,58
GM fehér formakenyér	sgol-3-9-0	30	82,61	81,28
Parasztkenyér	sgol-3-9-0	30	85,54	84,27
GM parasztkenyér	sgol-2-13-2	29	82,89	81,91

A négy napos tárolás során mért nedvességtartalom értékek szerinti osztályozás viszonylag pontosan valósult meg a barnakenyerek esetében. A különböző napokhoz tartozó adatpontok viszonylag külön csoportosultak a diszkrimináns térben (55.a ábra). A legpontosabb osztályozás a harmadik napon mért nedvességtartalom (41.43%) esetében volt (24. táblázat). Az előbbinél pontosabb osztályozás valósult meg a gluténmentes barnakenyerek esetében. A különböző napokhoz tartozó adatpontok viszonylag külön csoportosultak a diszkrimináns térben, bár a harmadik és negyedik mérési naphoz tartozó adatok jelentősen átfedtek (55.b ábra). A legpontosabb osztályozás a második és harmadik napon mért adatok esetében volt (25. táblázat).

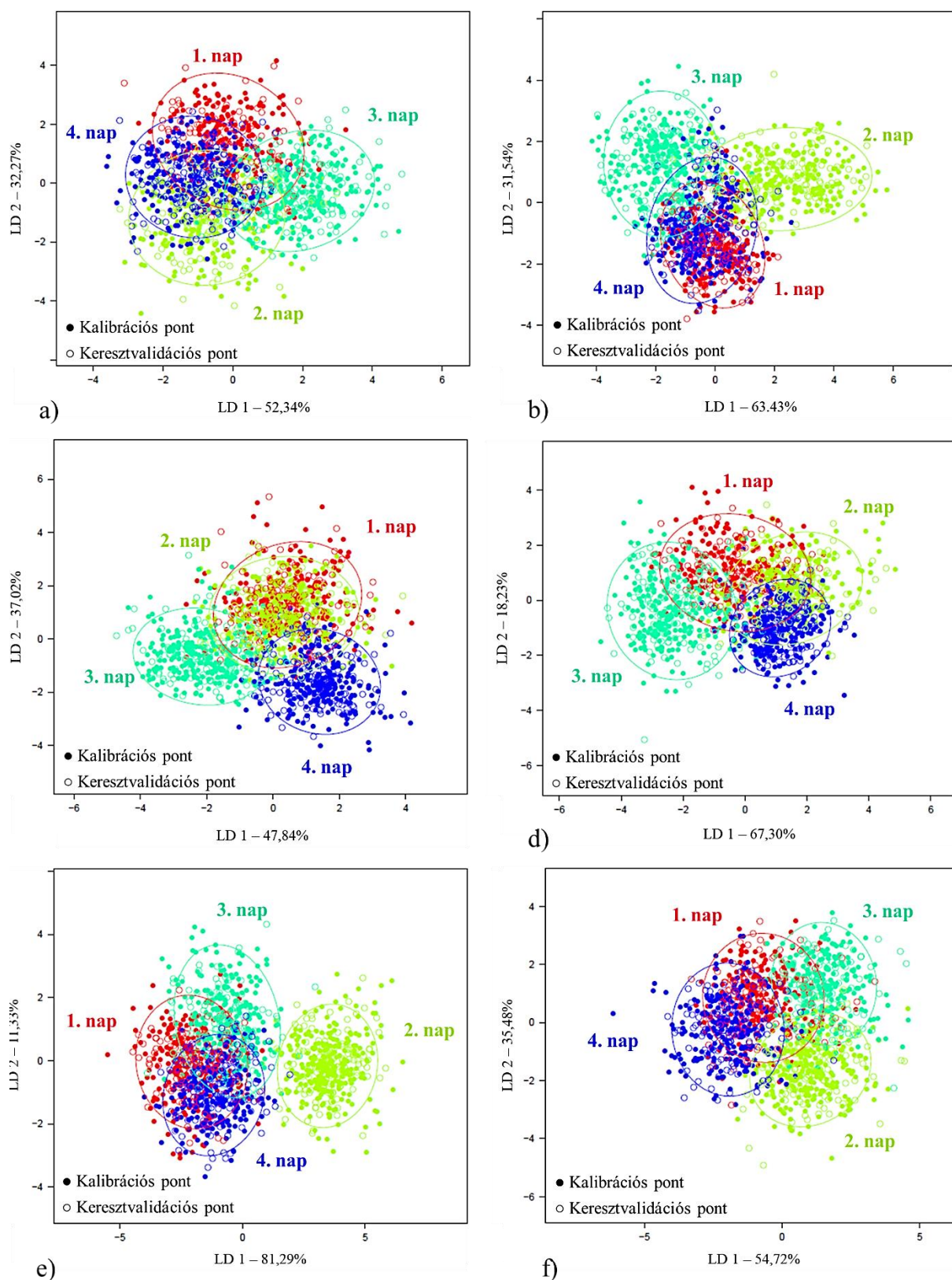
Az előbbinél pontosabb osztályozás valósult meg a fehérkenyerek esetén. Az első és második vizsgálati napokhoz tartozó adatok nagymértékben átfedtek, és az osztályozási pontosság is közel megegyezett (55.c ábra). Ez betudható annak, hogy ezeknél a kenyereknél egy nap tárolás kismértékben változtatta meg a nedvességtartalmat, ezáltal az abszorbanciát. A legpontosabb osztályozás a harmadik és a negyedik napon mért adatok esetében volt (26. táblázat). A gluténmentes fehérkenyerek esetében az előbbihez nagyon hasonlóan alakult az átlagos helyes osztályba sorolás a modellépítésnél és a validálásnál. Ennél a mintacsoportnál azonban a tárolás különböző napjain mért értékekhez tartozó adatpontok viszonylag jól elkülönültek egymástól (55.d ábra). Ezekre a kenyerekre igaz volt, hogy egy nap tárolás minimális nedvességtartalom változást eredményezett. A kenyerek tárolásával az osztályozási pontosság nőtt (27. táblázat).

24. táblázat: Barnakenyér minták osztályozása tárolási nap szerint kiugró érték kezelés, simítás és sgl-2-13-2 előkezelések után (N = 1403, NrPC = 30)

	Pontosság	1. nap	2. nap	3. nap	4. nap	Átlagos helyes osztályozás
Kalibráció	1. nap	72,88	6,54	2,38	9,85	78,18%
	2. nap	5,76	72,82	6,15	10,51	
	3. nap	11,51	4,65	89,24	1,89	
	4. nap	9,85	15,99	2,23	77,76	
Validáció	1. nap	72,12	7,85	3,08	11,59	75,79%
	2. nap	5,75	70,05	7,26	11,05	
	3. nap	10,61	5,82	86,58	2,97	
	4. nap	11,52	16,28	3,08	74,39	

25. táblázat: Gluténmentes barnakenyér minták osztályozása tárolási nap szerint kiugró érték kezelés és simítás után (N=1417, NrPC = 25)

	Pontosság	1. nap	2. nap	3. nap	4. nap	Átlagos helyes osztályozás
Kalibráció	1. nap	79,73	3,77	4,03	18,78	80,32%
	2. nap	1,95	87,29	0,81	3,11	
	3. nap	2,4	3,91	85,62	9,46	
	4. nap	15,92	5,03	9,54	68,65	
Validáció	1. nap	77,48	4,1	4,03	18,36	79,68%
	2. nap	2,1	87,15	0,81	3,39	
	3. nap	3,3	3,63	85,75	9,8	
	4. nap	17,12	5,03	9,41	68,36	



55. ábra: Kenyerek tárolási nap szerinti osztályozása

- a) Barna kenyér (N=1403, NrPC=30); b) Gluténmentes barnakenyér (N=1417, NrPC=25);
 c) Fehér kenyér (N=1457, NrPC=29); d) Gluténmentes fehérkenyér (N=1369, NrPC=30);
 e) Paraszt kenyér (N=1399, NrPC=30); f) Gluténmentes parasztkenyér (N=1345, NrPC=29)

26. táblázat: Fehérkenyér minták osztályozása tárolási nap szerint kiugró érték kezelés, simítás és sgol-2-13-2 előkezelések után (N=1457, NrPC=29)

	Pontosság	1. nap	2. nap	3. nap	4. nap	Átlagos helyes osztályozás
Kalibráció	1. nap	74,79	11,08	2,97	5,28	82,23%
	2. nap	16,25	74,46	3,92	4,17	
	3. nap	5,18	6,89	91,35	2,22	
	4. nap	3,78	7,57	1,76	88,33	
Validáció	1. nap	73,67	10,54	3,79	5,28	81,58%
	2. nap	16,81	74,05	4,05	4,44	
	3. nap	5,04	7,57	90,27	1,94	
	4. nap	4,48	7,84	1,89	88,34	

27. táblázat: Gluténmentes fehérkenyér minták osztályozása tárolási nap szerint kiugró érték kezelés és simítás után (N=1369)

	Pontosság	1. nap	2. nap	3. nap	4. nap	Átlagos helyes osztályozás
Kalibráció	1. nap	73,84	3,8	6,48	3,01	82,61%
	2. nap	8,9	81,29	1,41	9,1	
	3. nap	8,21	3,99	88,45	0,96	
	4. nap	8,98	10,89	3,66	86,85	
Validáció	1. nap	72,45	4,3	6,76	3,29	81,28%
	2. nap	8,67	80,67	1,97	11,51	
	3. nap	8,36	4,31	87,61	0,82	
	4. nap	10,52	10,74	3,66	84,38	

A parasztkenyerek esetében megfigyelhető volt, hogy az első diszkrimináns változó mentén a második vizsgálati naphoz tartozó adatpontok egyértelműen elkülönültek a többitől (55.e ábra). A 28. táblázatban összesített konfúziós mátrix is alátámasztja, hogy a 39,1%-os nedvességtartalmú minták osztályozása közel 100%-os volt ennél a modellnél, míg a többi esetben

a helyes osztályozás 80% körül alakult. A gluténmentes parasztkenyér minták esetében a különböző nedvességtartalmú mintákhoz tartozó adatpontok viszonylag jól elkülönültek (55.f ábra). E mintacsoportra jellemző volt, hogy a négy napos tárolás alatt jelentősen csökkent a kenyerek nedvességtartalma. Ennél a modellnél a második és harmadik mérési naphoz tartozó eredmények osztályozása volt a legpontosabb (29. táblázat).

28. táblázat: Parasztkenyér minták osztályozása tárolási nap szerint kiugró érték kezelés és simítás után (N=1399, NrPC=30)

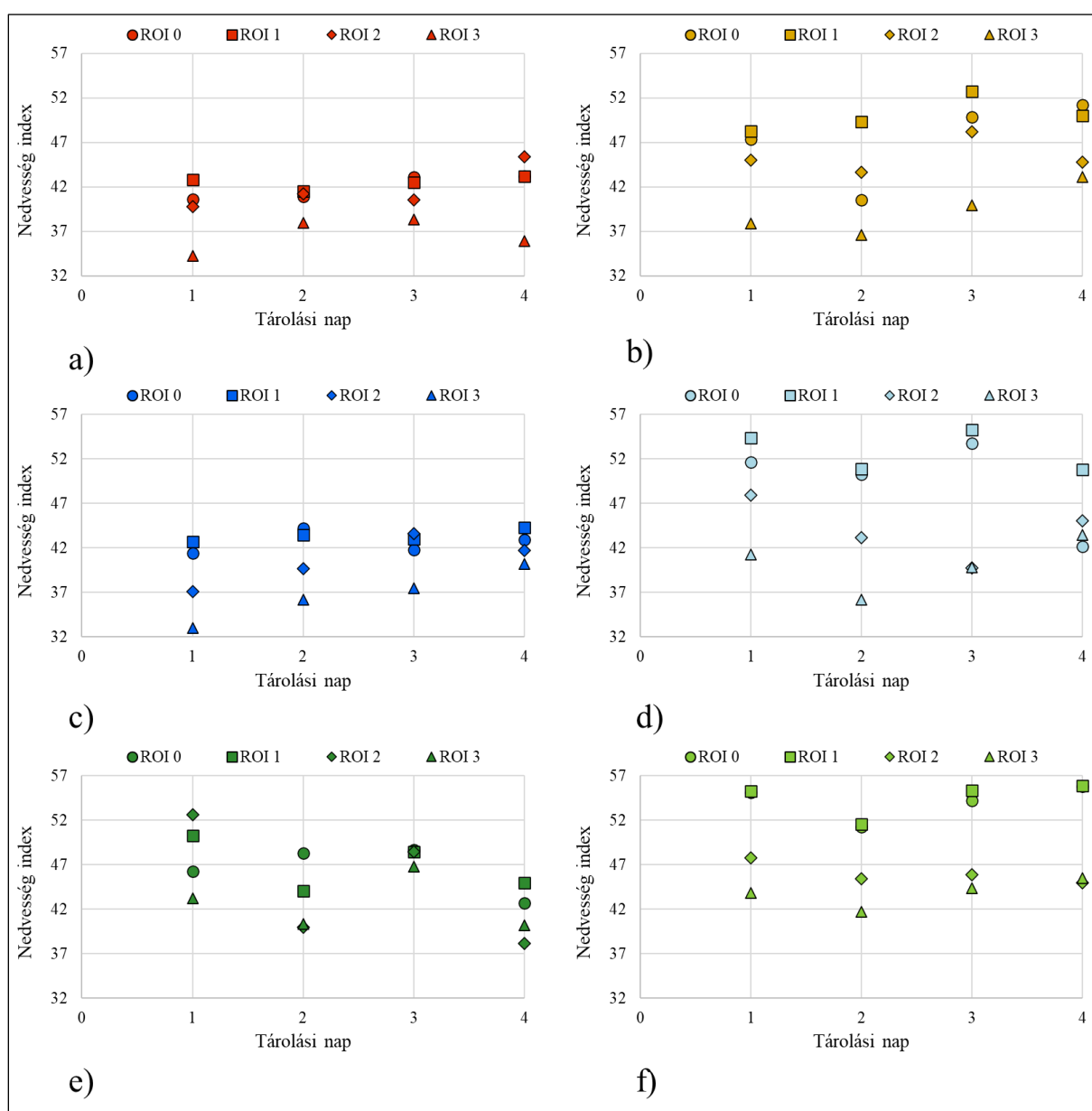
	Pontosság	1. nap	2. nap	3. nap	4. nap	Átlagos helyes osztályozás
Kalibráció	1. nap	81,28	0,27	7,08	8,53	85,54%
	2. nap	0	99,07	1,77	0,3	
	3. nap	8,86	0,4	80,97	10,33	
	4. nap	9,86	0,27	10,18	80,84	
Validáció	1. nap	79,43	0,26	7,96	8,98	84,27%
	2. nap	0	98,94	1,48	0,3	
	3. nap	10	0,53	79,94	11,97	
	4. nap	10,57	0,26	10,62	78,75	

29. táblázat: Gluténmentes parasztkenyér minták osztályozása tárolási nap szerint kiugró érték kezelés, simítás és sgl-2-13-2 előkezelések után (N=1345)

	Pontosság	1. nap	2. nap	3. nap	4. nap	Átlagos helyes osztályozás
Kalibráció	1. nap	71,77	1,4	5,64	15,39	82,89%
	2. nap	7,51	91,41	7,05	2,52	
	3. nap	7,96	5,63	87,3	1,03	
	4. nap	12,76	1,55	0	81,06	
Validáció	1. nap	69,37	1,12	5,95	15,38	81,91%
	2. nap	7,21	91,55	7,21	3,84	
	3. nap	9,01	6,48	86,52	0,59	
	4. nap	14,41	0,85	0,3	80,18	

4.5.3 Kenyerek nedvesség indexének alakulása a tárolás egyes napjain

Az 56. ábra összesíti, hogy a tárolás egyes napjain miként változott kenyértípusonként a nedvesség index. Az egyes kenyértípusok meglehetősen változatosan viselkedtek a négynapos tárolás során. Várt eredmény volt, hogy a kenyérbélzet belsőbb rétegeiből kifelé haladva (ROI 0, ROI 1, ROI 2) a fényelnyelés csökken, ami betudható a kenyerek tárolása során bekövetkező vízvesztésnek. A kenyerekre jellemző legkisebb nedvességtartalom a kenyérhéjhoz közel volt (ROI 3). A kenyerek belsőbb rétegeiben a vízvesztést illetően nem feltétlen mutatkozott trend.



56. ábra: Kenyerek tárolása során bekövetkező száradás kimutatása az egyes ROI pontokon 1454 nm-en nedvesség indexszel: a) Barnakenyér; b) Gluténmentes barnakenyér; c) Fehérkenyér; d) Gluténmentes fehérkenyér; e) Parasztkenyér; f) Gluténmentes parasztkenyér

4.5.4 Kenyerek nedvességtartalmának alakulása a tárolás egyes napjain

A különböző kenyerek szeletein mért, a tárolási napokra bontott nedvességtartalom adatok átlagai a 30. táblázatban láthatók. Az adatokból egyértelműen látszik, hogy a gluténmentes kenyerek nedvességtartalma minden kenyérfajta esetében, minden mérési helyen és minden tárolási napon magasabbak voltak a búzalisztes megfelelőikhez képest. Korrelációs számítás alapján a nedvesség index pozitívan korrelál minden kenyértípus és tárolási nap esetében a szárításos módszer eredményeivel. A szárításos módszerrel meghatározott nedvességtartalomhoz képest az egyes értékekben jelentkező különbséget az adja, hogy a kenyérszeletek nedvességtartalma nem egyenletes eloszlású, és a hiperspektrális elemzés során a jelölők manuálisan voltak pozícionálva.

30. táblázat: Kenyérszeletek különböző pontjain mért nedvességtartalmainak átlaga a tárolási napokon (PB: búzalisztes parasztkenyér; PGM: gluténmentes parasztkenyér; FB: búzalisztes fehérkenyér; FGM: gluténmentes fehérkenyér; BB: búzalisztes barnakenyér; BGM: gluténmentes barnakenyér; Mintavétel helye: 1: kenyér közepe; 2: közepe és a héj között félúton; 3: héj közelében)

Minta	Mintavétel helye	1. nap	2. nap	3. nap	4. nap
PGM	1	48,74	47,55	44,29	43,91
	2	47,54	46,57	44,18	43,82
	3	47,21	45,41	43,82	43,12
BGM	1	49,09	47,69	45,91	45,09
	2	48,57	47,17	44,96	44,32
	3	48,09	46,92	43,06	42,75
FGM	1	48,98	48,9	47,95	47,31
	2	48,91	48,14	47,2	46,68
	3	48,42	47,93	46,87	45,85
PB	1	39,82	39,1	37,96	35,98
	2	39,26	38,19	37,23	34,88
	3	35,37	34,02	32,43	31,53
BB	1	42,41	42,04	41,43	40,78
	2	42,57	41,83	40,93	38,93
	3	38,18	37,42	36,22	35,47
FB	1	38,58	38,23	37,68	36,83
	2	37,83	37,53	36,67	35,35
	3	34,19	33,89	33,05	32,76

4.5.5 PLSR modellek

Az aquaphotomics módszertan kenyérmintákon való alkalmazhatóságának további vizsgálatára a kenyértípusonként szűrt adathalmazokra nedvességtartalom becselő modelleket

építettem az 1300-1600 nm hullámhossz tartományban. A 31. táblázat foglalja össze a különböző spektrum előkezelésekkel kapott legpontosabb modelleket, a modellek illeszkedését leíró együttthatókat és a becslés szempontjából fontos hullámhosszakat (regressziós vektorok). A modellek többségére igaz volt, hogy a simításokon kívül nem volt szükség egyéb spektrum előkezelésre, hogy elfogadhatóan becsüljük a minták nedvességtartalmát. A PLSR modellek viszonylag jól, közepesen vagy gyengén becsülték a nedvességtartalmat. A legjobb predikciók a búzalisztes fehér és barnakenyerek esetében voltak. A 32. táblázat foglalja össze, hogy a prediktív modellek építése szempontjából fontos hullámhosszak milyen O-H vegyértékrezgéshez társíthatók (KOJIC et al., 2014, TSENKOVA, 2009).

31. táblázat: Kenyérminták nedvességtartalmának becslése PLSR-rel kiugró érték kezelés, spektrum előkezelés és keresztvalidáció után

Kenyér-típus	Spektrum előkezelés	Kalibráció		Validáció		LV	N	Hullámhosszak (nm)
		R_C^2	RMSE _C	R_{CV}^2	RMSE _{CV}			
BB	sgol-3-9-0	0,53	0,42%	0,47	0,45%	4	1102	1403, 1456
BGM	sgol-2-13-1	0,41	1,17%	0,35	1,23%	4	1192	1475
FB	sgol-3-9-0	0,69	0,36%	0,65	0,38%	4	1183	1408, 1451
FGM	sgol-2-21-1	0,40	0,54%	0,38	0,55%	4	1097	1379, 1437, 1504
PB	sgol-3-9-0	0,36	1,14%	0,30	1,20%	4	1210	1403, 1485
PGM	sgol-3-9-0	0,41	1,58%	0,35	1,66%	4	1079	1408, 1446

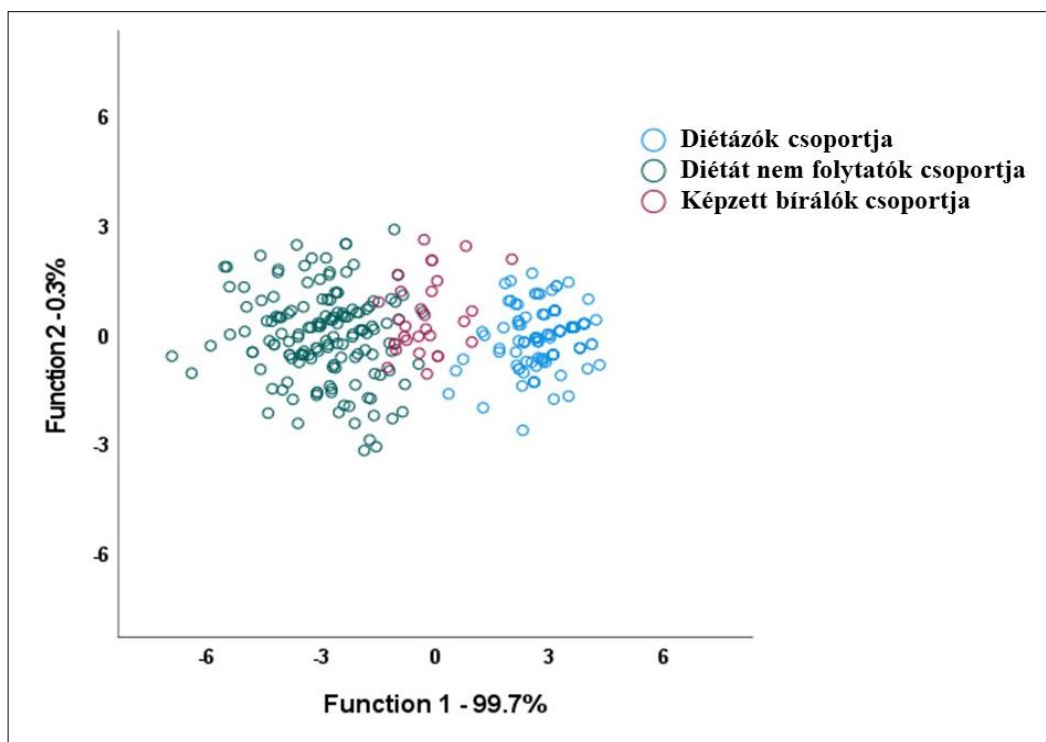
32. táblázat: A nedvességtartalom becslésben releváns hullámhosszak (KOJIC et al., 2014, TSENKOVA, 2009)

Hullámhossz (nm)	Társított rezgések
1379	$\nu_1 + \nu_3$ H ₂ O szimmetrikus nyújtó rezgés és H ₂ O aszimmetrikus nyújtó rezgés; protonált klaszterek
1403, 1408	Víz a környező ionok „csapdájában”; szabad vízmolekulák
1437, 1446	Vízmolekulák egy hidrogénkötéssel
1451, 1456	Víz solvatációs burok
1475, 1485	Vízmolekulák három hidrogénkötéssel
1504	Erősen kötött vízmolekulák

4.6. Érzékszervi minősítés eredményei

Profilanálízis módszerrel képzett bírálók segítségével (n=10 fő) vizsgáltam a kereskedelmi forgalomban kapható gluténmentes csomagolt kenyereket (n=8, 4 különböző gyártó által forgalmazott fehérkenyér és barnakenyér minta) a kenyér-aromakerék meglévő tulajdonságai alapján (27. ábra). Az analízis során a bírálók olyan ízeket, aromákat és ezekhez társuló kifejezéseket társítottak a mintákhoz, melyek korábban nem szerepeltek az aromakeréken. Az összes vizsgált kenyérnél új elemként megjelent a kukoricás íz, valamint a száraz textúra miatti fullasztó ízhatás. Illat aromák közül a jellegtelen, „üres” jelző jelent meg a vizsgált mintáknál, illetve a pszeudocereáliákat tartalmazóknál a diós, fűrészpör ízű jelzők. Az aromakerék meglévő tulajdonságai közül a leggyakrabban megjelenő elemek a következők voltak: élesztős, savanyú-fermentált íz és illat, édes vagy túlzottan sós íz, sajtra emlékeztető illat, kemény, száraz és morzsálékos textúra, gumis állag. Ezt alapul véve a későbbi minősítés során ezen profilok intenzitását is vizsgáltam a bírálatoknál.

A fejlesztés eredményéül kapott mintákat 3 csoporttal teszteltem: lisztérzékeny (n=50 fő), nem lisztérzékeny (n=50 fő) és képzett bírálók (n=10 fő). Az összes vizsgált tulajdonságot figyelembe véve ANOVA (10. melléklet) és LDA elemzés alapján (57. ábra) a diétázó bírálók másképp értékelték a gluténmentes mintákat, mint a másik két csoport tagjai. LDA elemzést végeztem, vizsgálva a bírálói csoportok elkülöníthetőségét az érzékszervi tulajdonságokra adott pontok alapján. A képzett bírálók és a diétát nem folytatók között, akik a hétköznapiakban búzalisztes kenyeret fogyasztanak nagyobb volt az átfedés. Az érzékszervi bírálat során adott pontszámok alapján a válaszadók 89,11%-ban az eredeti bírálati csoportjukba kerültek, míg a keresztvalidációnál a bírálók helyes csoportba sorolása 88,67%-ban volt sikeres (33. táblázat). Ennek oka lehet, hogy a búzalisztes kenyerek közötti differencia kisebb, mint a gluténmentes termékek között. Ehhez képest a gluténmentes termékek összetételükben és gyártástechnológiájukban nagyobb eltérést mutatnak (ROMAN et al., 2019). A gluténmentes étrendet folytatók között fontos adat, hogy hány éve tartanak diétát, és hogy ismerik-e a búzalisztes termékek ízét, illatát és textúráját. Akik több mint 7 éve lettek diagnosztizálva, és emiatt régóta fogyasztanak gluténmentes kenyeret, így már nem „emlékezve” a búzalisztes ízvilágra, magasabban pontozzák a gluténmentes mintákat, mint aki ugyan diétázik, de még a búzalisztes termékekhez tud hasonlítani (PAGLIARINI et al., 2010).



57. ábra: LDA elemzés eredménye mindhárom bíráló csoportnál (n=110 fő) az összes vizsgált tulajdonságra vonatkozóan (n=17) gluténmentes minták esetén

33. táblázat: LDA osztályozás tévesztési mátrixa (helyesen osztályozott csoportok aránya 89,11%)

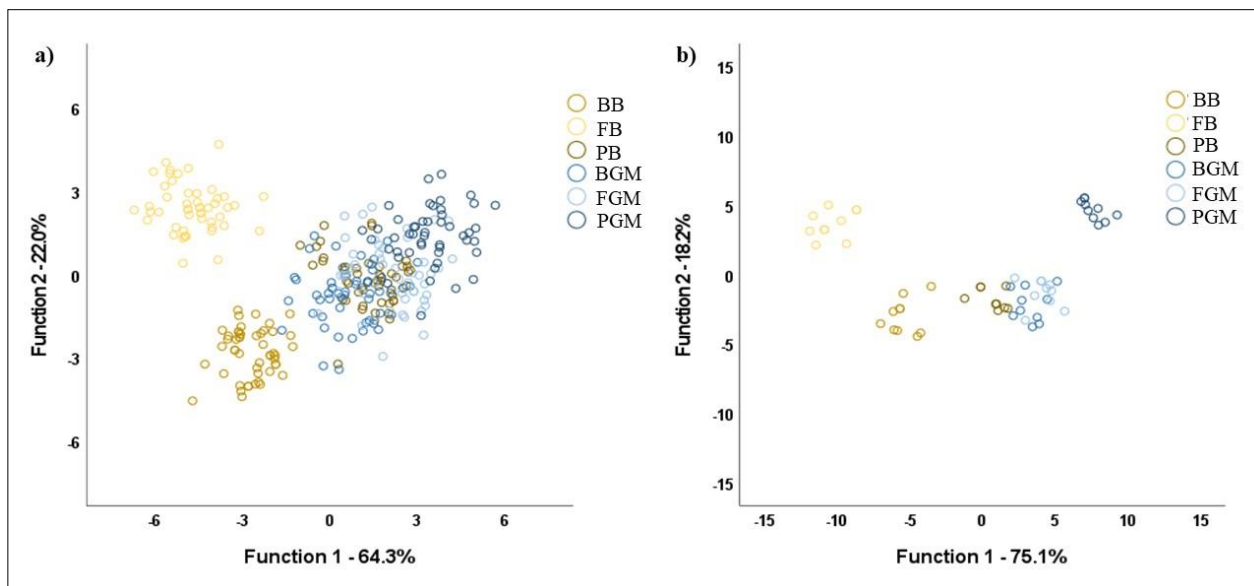
Csoport	Diétázó	Nem diétázó	Képzett bíráló	Összes
Diétázó	98,67	0,00	1,33	98,67
Nem diétázó	0,00	95,33	4,67	95,33
Képzett bíráló	10,00	16,67	73,33	73,33
Összes	108,67	112,00	79,33	89,11
Cross-validated				
Csoport	Diétázó	Nem diétázó	Képzett bíráló	Összes
Diétázó	98,00	0,00	2,00	98,00
Nem diétázó	0,00	94,67	5,33	94,67
Képzett bíráló	10,00	16,67	73,33	73,33
Összes	108,00	111,33	80,67	88,67

Általánosságban elmondható, hogy az érzékszervi minősítés során vizsgált gluténmentes minták kedveltségét leginkább meghatározó tulajdonságok a következők: puhaság tapintásra valamint rágás közben, porozitás, illat és íz intenzitás, valamint a morzsalékosság (PAGLIARINI et al., 2010; ALENCAR et al., 2017). Az ANOVA teszt eredményei alapján (10. melléklet) a tapintással vagy szaglással vizsgált tulajdonságok közül (porozitás, puhaság tapintással, illat) a puhaság kapcsán a képzett bírálók és a nem diétázók csoportja is szignifikánsan ($p < 0.05$)

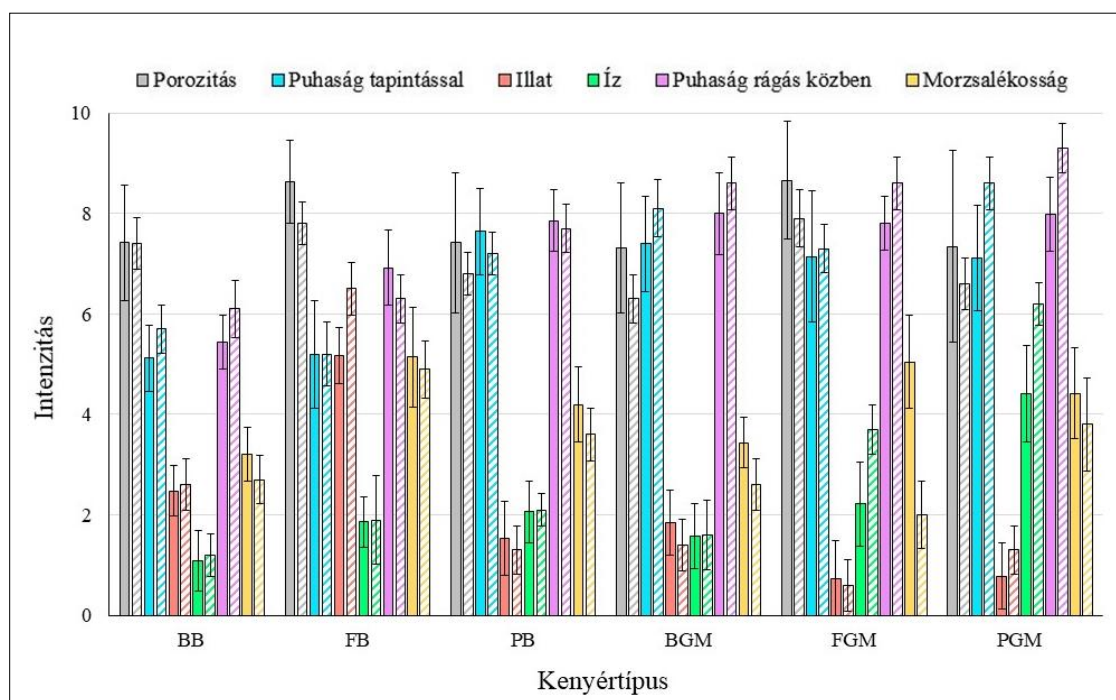
alacsonyabb, míg a porozitásnál szignifikánsan magasabb ($p < 0.05$) pontot adtak a diétát folytatókhoz képest (10. melléklet a, b, c ábra). Illat intenzitás esetében a képzett bírálók és a diétát folytatók értékelései között nem volt szignifikáns differencia ($p < 0.05$). A kóstolás során minősített tulajdonságok (íz intenzitás, puhaság rágás közben, morzsalékosság) esetében mind a képzett, mind a diétát nem folytatók szignifikánsan eltérő ($p < 0.05$), jellemzően alacsonyabb pontszámokat adtak a diétázókhoz képest (10. melléklet, d., e., f. ábra). A fehér és barna formakenyerek esetében alacsonyabb íz intenzitást és puhaságot, míg morzsalékosság esetében magasabb pontszámot adtak a diétázókhoz képest (11. melléklet). Ez ellentétes eredmény a korábban megjelent adatokhoz képest (LAUREATI et al., 2012), ahol nem találtak szignifikáns eltérést diétázó és nem diétázó csoport között gluténmentes kenyerek vizsgálata esetén.

A gluténmentes és búzaliszt alapú kenyérminták legfontosabb 6 tulajdonságára, a diétát nem folytató és képzett bírálói csoportok adatain elvégzett LDA elemzés (58. ábra) alapján átfedés mutatkozik a nem diétázó bírálók esetében a búzaliszt alapú parasztkenyér és a gluténmentes formakenyerek között. Képzett bírálónál átfedés csupán a búzaliszt alapú parasztkenyér és a gluténmentes barnakenyér között volt. A búzaliszt alapú formakenyereknél a nem diétázók és a képzett bírálók esetében sem volt átfedés gluténmentes termékekkel. Összességében a helyesen osztályozott elemek aránya 84%, keresztvalidáció után 82,33% volt a nem diétázók csoportjánál (12. melléklet). A diétázók és a másik két csoport között nem volt átfedés, ami tovább erősíti a korábban mutatott eredményeket, mely szerint a diétázók mindhárom kenyértípust másként értékelték.

Összességében mind a képzett bírálók, mind a nem diétázók a gluténmentes termékeket részesítették előnyben a búzalisztes megfelelőikkel szemben. A gluténmentes minták porozitását egységesebbnek, a puhaságukat tapintással és rágás közben intenzívebbnek, a morzsalékosságukat és az illat intenzitásukat alacsonyabbnak ítélték. Kivételt jelent ez alól mindkét csoportnál a gluténmentes parasztkenyér íz intenzitása, melyet sósabbnak ítélték meg annak búzalisztes párjához képest, valamint a képzett bírálók a gluténmentes fehérkenyeret édesebbnek érezték (59. ábra).



58. ábra: LDA elemzés eredménye a gluténmentes és búzaliszt alapú kenyérminták hat legfontosabb érzékszervi tulajdonságai alapján (a: nem diétázók csoportja; b: képzett bírálók; PB: búzalisztos parasztkenyér; PGM: gluténmentes parasztkenyér; FB: búzalisztos fehérkenyér; FGM: gluténmentes fehérkenyér; BB: búzalisztos barnakenyér; BGM: gluténmentes barnakenyér)



59. ábra: Búzalisztos és gluténmentes kenyérminták érzékszervi pontszámai (Színes oszlopok: nem diétázók csoportja; Csíkos oszlopok: képzett bírálók csoportja; PB: búzalisztos parasztkenyér; PGM: gluténmentes parasztkenyér; FB: búzalisztos fehérkenyér; FGM: gluténmentes fehérkenyér; BB: búzalisztos barnakenyér; BGM: gluténmentes barnakenyér)

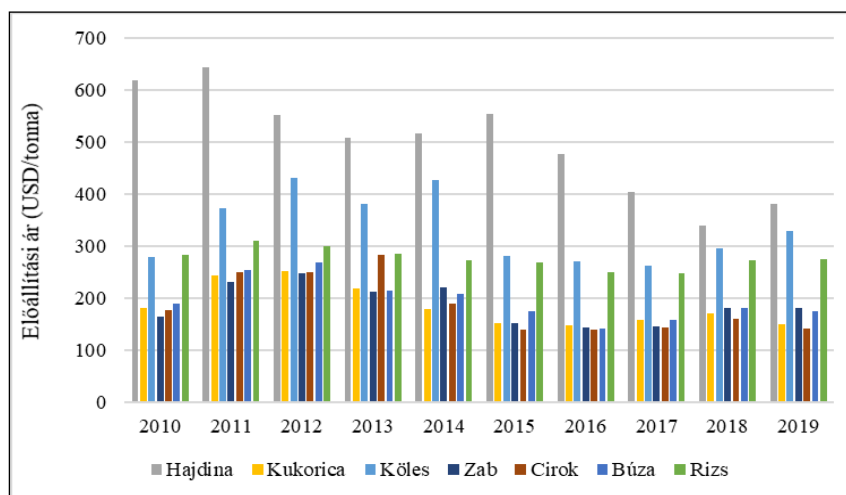
4.7. Gluténmentes élelmiszerek árának csökkentési lehetőségének vizsgálata

Mind a primer (34. ábra, 4.1.2.3. fejezet), mind a szekunder kutatásban a gluténmentes termékek egyik legnagyobb, nemzetközi szinten is jelen lévő hátránya azok ára (MISSBACH et al., 2015; JAMIESON és GOUGEON, 2017; MOHD FAUAD et al., 2020). A hazai piacon tapasztalható magas fogyasztói árak több oka van:

- magas áron elérhető alapanyagok
- gépesítési lehetőség limitáltabb (búzasiker hiánya miatt eltérő viszkozitású és stabilitású tészták)
- humán munkaerő magas járulékai
- euro-forint árfolyam változása
- összetételtől függően 18% vagy 27%-os ÁFA (általános forgalmi adó) tartalom

A különböző gluténmentes sütőiparban használt növények (kukorica, rizs, hajdina, köles, cirok, quinoa, zab) megtermelési költségeinek adatai (60. ábra) mellett figyelembe kell venni azok feldolgozási és értékesítési költségeit is. Például Európában annyira minimális a quinoa vagy amarant termelés, hogy ezekre vonatkozó adatot nem is tesznek közzé. Ezek származási helye jellemzően Közép- és Dél-Amerika (Mexikó, Peru, Bolívia), de ezek árai a hajdinához képest 2-4-szeres szintet képviselnek (FAOSTAT).

A búzához viszonyítva csak a kukorica és a cirok termelési ára alacsonyabb, de a belőlük készített, jelölten gluténmentes lisztek ára ezt már nem tükrözi. Ennek oka, hogy a gluténmentesség garantálásához csak olyan malomban lehet feldolgozni a gabonaféléket, melyben búza, árpa vagy rozs nem fordul meg. Ilyen malomból rendkívül kevés található egész Európában, valamint a növekvő szállítási költségek (üzemanyag árak emelkedése) további alapanyag áremelkedést jelentenek.



60. ábra: Különböző alapanyagok megtermelési költsége Magyarországon, hajdina esetében közép-európai átlag (Forrás: FAOSTAT)

Ha figyelembe vesszük azt, hogy az alapanyagokat beszállító cégek többsége nem magyar, akkor az Euró-Forint árfolyam számunkra negatív változása is jelentős hatással bír a beszerzésre (61. ábra).



61. ábra: Euró-Forint árfolyam változásai az elmúlt 10 évben (Forrás: tőzsdeasz.hu)

A kísérleti adatokból látható, hogy igazán minőségi termék előállítása minőségi alapanyagok felhasználásával lehetséges. A farinográfus mérésekkel meghatározható azon keményítők, pszeudocereáliák vagy hidrokolloidok halmaza, melyek valóban alkalmasak a tészta reológiai tulajdonságain javítani. Az alkalmazott mennyiség optimalizálásával pedig el lehet kerülni a magas árponú alapanyagok felesleges használatát, így csökkentve az előállítási költségeket. Véleményem szerint a fent említett élelmiszer-mérnöki megközelítéshez képest egységesebb és gyorsabb eredményt jelentene az ÁFA csökkentése. A Táplálékallergia Centrumban kapható gluténmentes lisztkeverékek valamint késztermékek fogyasztói árai is

jelentős mértékben csökkennének, miközben az ebből adódó keresletnövekedés ellensúlyozná a költségvetés számára kieső ÁFA bevételt. Erre jó példát adnak más európai országok, ahol a gluténmentes termékek adószintje alacsonyabb (34. táblázat). A vizsgált országok egyikében sincs megkülönböztetve a gluténmentes termékek köre a búzaliszttestől, azok azonos adótartalommal rendelkeznek. Magyarországon a termékek összetételétől függően (sótartalom, cukortartalom, zsírtartalom) különböző ÁFA kulcsokba kerülhetnek.

34. táblázat: Más európai országok ÁFA szintjével számolt hazai fogyasztói árak gluténmentes liszt és késztermék esetén

Ország	ÁFA (%)	Fogyasztói ár (HUF)					
		Rizs- liszt	Fehérkenyér	Barnakenyér	Univerzális	Paraszt-	Barna
			lisztkeverék (1 kg)	lisztkeverék (1 kg)	lisztkeverék (1 kg)	kenyér (600 g)	kenyér (400g)
Anglia	0	449	1397	1525	931	1508	1055
Svájc	2,5	460	1432	1563	954	1546	1081
Horvátország	5	471	1467	1601	978	1583	1108
Németország	7	480	1495	1632	996	1614	1129
Hollandia	9	489	1523	1662	1015	1644	1150
Svédország	12	503	1565	1708	1043	1689	1182
Finnország	14	512	1593	1739	1061	1719	1203
Magyarország	18	530	1648	1800	1099	1779	1245
Magyarország	27	570	1774	1937	1182	1915	1340

5. Új tudományos eredmények

1. Megállapítottam a magyarországi gluténmentes kenyérfogyasztás korosztály és kenyértípus szerinti megoszlását, valamint a diétázók egyéb élelmiszer fogyasztással kapcsolatos diétás igényeit. A primer kutatással felmértem, hogy a diétázók 49,2 %-a nem csak gluténmentes diétát kell, hogy kövessen. Az elvégzett felmérések alapján a fogyasztói igényeket figyelembe véve meghatároztam a termékfejlesztéshez felhasználandó alapanyagok körét.
2. Farinográfus vizsgálatokkal megállapítottam hidrokolloidok (HPMC és xantán) változó arányú keverékének a TAC kenyérlisztből készült fehér-és barnakenyér tésztájának kialakulásra, stabilitásra, ellágyulásra és vízfelvételre vonatkozó hatásait. Méréseimmel igazoltam, hogy a hidrokolloidok jelentős hatással bírnak minden vizsgált paraméterre, valamint hogy a pszeudocereáliák alkalmazása (hajdina és amarant) jelentős eltérést okoz a fehérkenyérhez képest.
3. A farinográfus mérések alapján modell egyenleteket illesztettem a tészta kialakulási idejére, stabilitására, ellágyulására és a vízfelvételre TAC fehérkenyér és barnakenyér lisztkeverékekre.
4. A létrehozott predikciós eszköz segítségével olyan lisztkeverékeket állítottam össze, melyek farinográfus görbéi eltérnek a korábban bevizsgált gluténmentes lisztkeverékektől, és jobban megközelítették a búzaliszt görbéjének paramétereit.
5. Az elasztográfus mérések helyett a korábban kidolgozott TPA mérési módszert alkalmazva igazoltam, hogy a fejlesztés eredményeként kapott gluténmentes kenyerek keménység, kohézió és rugalmasság paraméterei 4 napos tárolási kísérlet során szignifikánsan jobban ($p < 0.05$), vagy azonos módon viselkedtek a búzalisztes megfelelőikhez képest.
6. Sikeresen alkalmaztam hiperspektrális (HSI) módszert a kenyér tárolása során bekövetkező nedvességtartalom-változás monitorozására búzalisztes és gluténmentes minták esetén. PCA módszerrel meghatároztam azokat a hullámhosszakokat, melyek leginkább leírják a nedvességtartalmat. LDA elemzéssel igazoltam, hogy a gluténmentes termékek magasabb nedvességtartalommal rendelkeznek, és csökkenésének sebessége lassabb mind a kenyérbélzet közepén, mind a héj menti régióban a 4 napos tárolási kísérlet során a búzaliszt alapú referencia termékekhez képest.
7. A vizsgált minták érzékszervi minősítése során igazoltam, hogy a különböző bírálói csoportok (gluténmentes diétát tartók, búzalisztes terméket fogyasztók, képzett bírálók) között szignifikáns különbség ($p < 0.05$) tapasztalható azonos gluténmentes kenyérminták

értékelése esetén. Sikeresen meghatároztam azokat a tulajdonságokat, melyek leginkább felelősek a csoportok közötti, ANOVA teszttel igazolt szignifikáns különbségekért (puhaság tapintásra valamint rágás közben, porozitás, illat és íz intenzitás, valamint a morzsalékosság).

6. Következtetések és javaslatok

Bár a gluténmentes termékek iránti piaci igény, és az ehhez a termékekhez kapcsolódó tudományos publikációk száma az utóbbi évtizedekben dinamikusan fejlődött, a jelenlegi piaci valóság és a tudományos élet nincs összhangban egymással. Munkámmal ezt a rést szerettem volna csökkenteni, és egyidejűleg segítséget adni a kutatói, gyártói és fogyasztói csoportoknak.

Munkám során az egyik legfontosabb és legjelentősebb következtetés, hogy a piaci helyzetet, fogyasztókat és termékeket jobban meg kell ismerni, és ezeket az információkat közzé kell tenni. Jelenleg a tudományos publikációkban leginkább a kereskedelmi forgalomban kapható termékek árát és összetételét vizsgálják, figyelmen kívül hagyva a fogyasztói igényeket a termékekkel és kereskedelmi tevékenységekkel kapcsolatban, valamint nem kísérik figyelemmel a kereskedelemben elérhető termékeket. Emiatt a tudományos eredmények nincsenek összhangban a gyártói és fogyasztói igényekkel, és ezek az eredmények emiatt nem kerülnek alkalmazásra a mindennapok során.

A gluténmentes termékek fejlesztésekor a minél szélesebb körű fogyasztói kör diétás igényeinek kielégítése végett érdemes elhagyni az ezekben a termékekben gyakran használt szójafehérjét, tejfehérjét, laktózt, tojásfehérjét és a magas glikémiás indexű szénhidrátokat, mert a gluténmentes étrendet folytatók közel fele egyidejűleg több más élelmiszer allergiával vagy intoleranciával is küzd. Ezek helyett olyan alternatív alapanyagokat érdemes használni, mint például a borsófehérje, hajdina, amarant vagy a különböző rostok.

A különböző arányú lisztkeverékek vizsgálatával alkotott predikciós modell alkalmas volt a HPMC és a xantán hidrokolloidok kombinációinak a kenyértészta kialakulásra, stabilitásra, ellágyulásra és a vízfelvételre gyakorolt hatását leírni. Ezek alapján elmondható, hogy a TAC kenyérliszt keverékekre (fehér- és barnakenyér) mindkét hidrokolloid használata jelentős hatást gyakorol az összes vizsgált paraméterre. Méréseimmel megállapítottam, hogy bár a pszeudocereáliák (hajdina és amarant) kedvező élettani hatással bírnak, felhasználásuk nagymértékben befolyásolja a kialakuló kenyértésztát a búzaliszt alapú fehérkenyérhez képest, mely még mindig a legkeresettebb kenyérfajta hazánkban. A létrehozott predikciós modell segítségével gyártói oldalról felgyorsulhat és leegyszerűsödhet a termékfejlesztés folyamata.

Bár a hiperspektrális méréseket az élelmiszeripar egyre több területén alkalmazza, kenyerek vizsgálatára nincs szakirodalmi adat. A HSI mérést sikeresen alkalmaztam búzaliszt alapú és gluténmentes kenyereken, és eredményesen tudtam a meghatározott hullámhosszakon és adat előkezelési módszerekkel nyomon követni a kenyerek nedvességtartalmának változását, a retrogradáció sebességének különbözőségét az eltérő kenyértípusok esetén. A mérés eredményei

alapján búzaliszt alapú és gluténmentes kenyerek osztályozása a tárolási napok alapján szerint egyaránt lehetséges. A jövőben a módszer segítheti a tudományos élet számára non-invazív módszerként a kenyérhez adott különböző alap- vagy segédanyagok nedvességtartalom- és eloszlás változásának vizsgálatát tárolási kísérletek során.

Az érzékszervi minősítés elengedhetetlen része a termékfejlesztésnek. Jelenleg nincs egységes protokoll arra, hogy gluténmentes kenyeret milyen bírálói csoportnak (diétázó, nem diétázó, képzett bíráló) kell értékelnie. A nyelvezet és bírálati szempontok egységesítéséhez javasolt a dolgozatban kibővített aromakerék használata, valamint további bővítési lehetőségének vizsgálata.

Miután a méréseim során szignifikáns különbséget igazoltam a különböző bírálói csoportok között (diétázó, nem diétázó, képzett bíráló), ezért fontos lenne, hogy a minősítést kellő számú taggal rendelkező, meghatározott csoport végezze el az előzetes célkitűzésnek megfelelően. Amennyiben az érzékszervi minősítés célja a búzalisztes termékekhez való hasonlóság vizsgálata, úgy a képzett bírálói csoport használata javasolt. Ha a bírálat célja egy gluténmentes termék továbbfejlesztésének vizsgálata, úgy a diétázók csoportja javasolt.

7. Összefoglalás

Munkám során a Táplálékallergia Centrum megbízásából gluténmentes lisztkeverék fejlesztése, valamint a végtermékek (fehér formakenyér, barna formakenyér, parasztkenyér) vizsgálata volt a feladatom. A termékfejlesztéshez és kenyerek vizsgálatához szakirodalmi áttekintés után az alábbi meghatározó témaköröket vizsgáltam:

- Fogyasztói igények felmérése diétázók körében a gluténmentes termékek kapcsán
- Hidrokolloidok tészta kialakulásra gyakorolt hatásának vizsgálata
- Predikciós modell létrehozása gluténmentes lisztkeverékek farinográfus görbéinek becslésére
- TPA módszer alkalmazása gluténmentes kenyereken
- Hiperspektrális mérések alkalmazása kenyereken tárolási kísérlet során
- Érzékszervi minősítési módszer pontosításra gluténmentes kenyerek vizsgálatára

A piackutatással sikeresen meghatároztam a gluténmentes diétát folytató csoport (n=500 fő) fogyasztói szokásait, termékekkel szemben támasztott igényeit és problémáit, valamint a társuló élelmiszer fogyasztáshoz köthető egyéb allergiák, laktóz intolerancia és más betegségek előfordulási arányát.

Sikeresen meghatároztam a hidrokolloidok (HPMC és xantán) tészta kialakulásra gyakorolt hatását egy gluténmentes termékeket előállító cég kukorica- és tápiókakeményítő alapú kenyérlisztjéből. Az eredmények alapján predikciós modellt alkottam, melynek segítségével becsültem lisztkeverékek farinográfus görbéinek paramétereit. Az eredményül kapott lisztkeverékekből készült különböző típusú kenyérfélék TPA és LDA elemzése azt mutatta, hogy a gluténmentes kenyerek a búzalisztessel megegyezően, vagy szignifikánsan jobban teljesítettek a 4 napos tárolási kísérlet során.

A HSI méréseknél PCA módszerrel sikeresen meghatároztam a nedvességtartalom szempontjából legfontosabb hullámhosszokat, illetve LDA elemzéssel eredményesen tudtam megkülönböztetni a búzaliszt alapú és gluténmentes kenyereket a tárolási kísérlet során.

Érzékszervi minősítés során igazoltam, hogy szignifikáns különbség van a diétázó, nem diétázó és szakképzett bírálók között, ami ellentétes eredmény az eddig, ebben a témakörben megjelent kis számú publikációkhoz képest. Profilanalízis módszerével sikeresen bővítettem a kenyér-aromakerék tulajdonságainak listáját. Az összehasonlító mérések során a búzalisztes kenyereket fogyasztó csoportok a gluténmentes mintákat jobbnak ítélték a referenciaként használt, kereskedelmi forgalomban kapható búzalisztes termékekhez képest.

Summary

In my work, on behalf of the company called Táplálékallergia Centrum my task was the development of a gluten-free flour mixture, as well as examination of the final products (white loaf, whole grain loaf, cob).

After reviewing the scientific literature and publications, for the product development and testing the final bread product the following areas were studied:

- Consumer insight assessment
- Investigation of the effect of hydrocolloids on dough rheology
- Creation of a prediction model for estimating the farinograph curves of newly developed gluten-free flour mixtures
- Application of TPA method settings on gluten-free bread samples
- Application of HSI measurement on gluten-free and wheat based breads to detect moisture changes during storage test
- Review the sensory evaluation method for gluten-free bread samples

The market survey approach successfully identified the consumer habits, product needs and problems of group of people following gluten-free diet (n=500 people), and the incidence of other allergies, lactose intolerance and other diseases linked with food consumption.

I successfully determined the effect of hydrocolloids (HPMC and xanthan) on dough formation in a matrix based on corn and tapioca starch. Based on the results, I created a prediction model, and with the help of the model the farinograph curve parameters of gluten-free flour mixes could be estimated. TPA and LDA analysis of different types of gluten-free breads made from the developed flour mixtures showed that the gluten-free breads performed as well or even significantly better compared to their wheat-based counterparts during a 4-day long storage experiment.

The most relevant wavelengths during the HSI measurements were successfully determined by PCA method, and it was possible to distinguish the gluten-free and wheat-based bread samples based on their moisture content by LDA analysis. During the sensory evaluation it was proved that there is a significant ($p < 0.05$) difference between gluten-free diet following, non-dieting and trained assessors, which is opposite result compared to previous publications. With profile analysis, the properties of bread aroma wheel could be successfully expanded. In comparative testing, groups consuming wheat based bread on regular base rated the gluten-free samples better than the commercially available wheat flour products used as reference.

8. Mellékletek

M1: Irodalomjegyzék

- AACC METHOD 10-05.01 (1998). Guidelines for Measurement of Volume by Rapeseed Displacement. AACC International; St. Paul, MN, USA.
- ABDEL-AAL, E.M. (2009). Functionality of Starches and hydrocolloids in Gluten-free Foods. *Gluten-Free Food Science and Technology*, 200-224. p.
- ABONYI, T. (2010). A sikéralkotó fehérjék bioszintézise és a sikérkomplex reológiai sajátosságai. PhD értekezés, *Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem*
- AHLBORN, J.G., PIKE, A.O., HENDRIX, B.S., HESS, M.W., és HUBER, S.C. (2005). Sensory, mechanical and microscopic evaluation of staling in low-protein and gluten-free breads. *Cereal Chemistry*, 82(3), 328-335. p.
- ALENCAR, N.M.M., STEEL, C.J., ALVIM, I.D., DE MORAIS, E.C., és BOLINI, H.M.A. (2015). Addition of quinoa and amaranth flour in gluten-free breads: Temporal profile and instrumental analysis. *Food Science and Technology*, 62, 1011-1018. p.
- ALENCAR, N.M.M., DE MORAIS, E.C., STEEL, C. J., és BOLINI, H.M.A. (2017). Sensory characterisation of gluten-free bread with addition of quinoa, amaranth flour and sweeteners as an alternative for coeliac patients. *International Journal of Food Science and Technology*, 52, 872-879. p.
- ALVAREZ-JUBETE, L., AUTY, M., ARENDT, E.K., és GALLAGHER, E. (2009a). Baking properties and microstructure of pseudoereal flours in gluten-free bread formulations. *European Food Research and Technology*, 230, 437-445. p.
- ALVAREZ-JUBETE, L., ARENDT, E.K., és GALLAGHER, E. (2009b). Nutritive value and chemical composition of pseudocereals as gluten-free ingredients. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(4), 240-57. p.
- ANJUM, F. M., KHAN, M.R., DIN, A., SAEED, M., PASHA, I., és ASRHAD, M.U. (2007). Wheat Gluten: High molecular weight glutenin subunits- Structure, genetics, and relation to dough elasticity. *Journal of Food Science*, 72(3), 56-63. p.

- AOKI, N., KATAOKA, T., és NISHIBA, Y. (2020). Crucial role of amylose in the rising of gluten- and additive-free rice bread. *Journal of Cereal Science*, 92, 102905.
- ARENDT, E.K., O'BRIEN, C.M., SCHOBERT, T.J., GALLAGHER, E., és GORMLEY, T.R. (2002). Development of gluten-free cereal products, *Farm Food*, 12, 21-27. p.
- ARENDT, E.K., és BELLO, DAL F. (2008a). Gluten-free Cereal Products and Beverages. *Academic Press*, Chapter 2, 29-46. p.
- ARENDT, E.K., MORRISSEY, A., MOORE, M.M., és BELLO, D.F. (2008b). Gluten-free breads. *Academic Press*, Chapter 13, 289-320. p.
- ARMSTRONG, M. J., ROBINS, G. G., és HOWDLE, P. D. (2009). Recent advances in coeliac disease. *Current Opinion in Gastroenterology*, 25, 100-109. p.
- AZIZI, S., AZIZI, M.H., MOOGOUEI, R., és RAJAEI, P. (2020). The effect of quinoa flour and enzymes on the quality of gluten-free bread. *Food Science and Nutrition*, 8(5), 2373-2382. p.
- BARAK, S., MUDGIL, D., és KHATKAR, B.S. (2015). Biochemical and Functional Properties of Wheat gliadins: A review. *Food Science and Nutrition*, 55(3), 357-368. p.
- BARAVALLE, R., PATOW, G.A., és DELRIEUX, C. (2015). Procedural bread making. *Computers and Graphics*, 50, 13-24. p.
- BANAI J., HORVÁTH Z., KOLTAI T., és VERESNÉ BÁLINT M. (2003). Lisztérzékenyek könyve, *Biofil Egészségkönyvek*, Anonymus Kiadó
- BASSO, F.M., MANGOLIM, C.S., AGUIAR, M.F.A., MONTEIRO, A.R.G., PERALTA, R.M., és MATIOLI, G. (2015). Potential use of cyclodextrin-glycosyltransferase enzyme in bread-making and the development of gluten-free breads with pinion and corn flours. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 66(3), 275-281. p.
- BEAN, S.R., AKIN, P.A., és ARAMOUNI, F.M. (2021). Zein functionality in viscoelastic dough for baked food products. *Journal of Cereal Science*, 100, 103270.
- BEITANE, I., KRUMINA-ZEMTURE, G., és SABOVICS, M. (2015). Technological properties of pea and buckwheat flours and their blends. *Annual 21st International Scientific Conference: Research for rural Development*, 2015, 137-142. p.

- BELITZ, H.D., GROSCH, W., és SCHIEBERLE, P. (2007). Lehrbuch der Lebensmittelchemie, *Springer-Lehrbuch*, 6, 40-63 p.
- BELORIO, M., SAHAGÚN, M., és GÓMEZ, M. (2019). Influence of flour particle size distribution on the quality of maize gluten-free cookies. *Foods*, 8(2), 83.
- BEMILLER, J.N. (2011). Pasting, paste, and gel properties of starch-hydrocolloid combinations. *Carbohydrate polymers*, 86(2), 386-423. p.
- BERTI, C., RISO, P., MONTI, L.D., és PORRINI, M. (2004). In vitro starch digestibility and in vivo glucose response of gluten-free foods and their gluten counterparts. *European Journal of Nutrition*, 43, 198-204. p.
- BERTOFT, E., ANNOR, G.A., SHEN, X., RUMPAGAPORN, P., SEETHARAMAN, K., és HAMAKER, B.R. (2016). Small differences in amylopectin fine structure may explain large functional differences of starch. *Carbohydrate Polymers*, 140, 113-121. p.
- BOURNE, M.C. (2002): Food Texture and Viscosity. Chapter IV: Principles of objective texture measurement. *Academic Press*, New York, 107-188. p.
- BRESSIANI, J., ORO, T., DA SILVA, P.M., BERTOLIN, T és MONTENEGRO, M. (2019). Influence of milling whole grains and particle size on thermo-mechanical properties of flour using Mixolab. *Czech Journal of Food Sciences*, 37(4), 276-284. p.
- BROWN, S.C., WHELAN, K., GEARRY, R.B., és DAY, A.S. (2020). Low FODMAP diet in children and adolescents with functional bowel disorder: A clinical case note review. *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, 4, 153-159, p.
- BUIE, T. (2013). The relationship of autism and gluten. *Clinical Therapeutics*, 35, 578-583. p.
- CABANILLAS, B. (2019). Gluten-related disorders : Celiac disease, wheat allergy, and nonceliac gluten sensitivity. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60, 2606–2621. p.
- CABRERA-CHAVEZ, F., DEZAR, G.V.A., ISLAS-ZAMORANO, A.P., ESPINOZA-ALDERETE, J.G., VERGARA-JIMÉNEZ, M.J., MAGAÑA-ORDORICA, D., és ONTIVEROS, N. (2017). Prevalence of Self-Reported Gluten Sensitivity and Adherence to a Gluten-Free Diet in Argentinian Adult Population. *Nutrients*, 9, 81-87. p.

- CAPELLI, A., OLIVA, N., és CINI, E. (2020). A systematic Review of Gluten-Free dough and bread: dough rheology, bread characteristics, and improvement strategies. *Applied Sciences*, 10, 6559. p.
- CAPPA, C., LUCISANO, M., és MARIOTTI, M. (2013). Influence of psyllium, sugar beet fibre and water on gluten-free dough properties and bread quality. *Carbohydrate Polymers*, 98, 1657-1666. p.
- CAPRILES, D.V., és AREAS, G.J.A. (2014). Novel approaches in gluten-free breadmaking: Interface between Food Science, Nutrition, and Health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13, 871-890. p.
- CAPUANI, A., BEHR, J., és VOEGE, R. (2013). Influence of lactic acid bacteria on redox status and on proteolytic activity of buckwheat sourdoughs. *International Journal of Food Microbiology*, 165(2), 148-155. p.
- CARROCCIO, A., GIAMBALVO, O., LA BLASCA, F., IACOBUCCI, R., D'ALCAMO, A., és MANSUETO, P. (2017). Self-Reported Non-Celiac Wheat Sensitivity in High School Students: Demographic and Clinical Characteristics. *Nutrients*, 9. Available online: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5537885/> (accessed on 28 January 2019).
- CASELATO-SOUSA, V.M., és AMAYA-FARFAN, J. (2012). State of Knowledge on Amaranth Grain: A comprehensive Review. *Journal of Food Science*, 77(4), 93-104. p.
- CATASSI, C., BAI, J. C., BONAZ, B., BOUMA, G., CARROCCIO, A., CIACCI, C., CHRISTOFORI, F., DOLINSEK, J., FRANCAVILLA, R., ELLI, L., GREEN, P., VÉCSEI, A., és FASANO, A. (2013). Non-celiac gluten sensitivity: The new frontier of gluten related disorders. *Nutrients*, 5(10), 3839-3853. p.
- COELIAC AUSTRALIA (2021). Oats and the gluten free diet. <https://www.coeliac.org.au/s/article/Oats-and-the-gluten-free-diet>. Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: Oat and gluten free diet in Australia. Lekérdezés időpontja: 2021.12.06.
- COELIAC UK (2021). Oats. <https://www.coeliac.org.uk/information-and-support/living-gluten-free/the-gluten-free-diet/about-gluten/oats/?&&type=rfst&set=true#cookie-widget>. Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: Oat and gluten free diet in Europe. Lekérdezés időpontja: 2021.12.06.

- CONTE, P., DEL CARO, A., BALESTRA, F., PIGA, A., és FADDA, C. (2018). Bee pollen as a functional ingredient in gluten-free bread: A physical-chemical, technological and sensory approach. *LWT – Food Science and Technology*, 90, 1–7. p.
- CORNICELLI, M., SABA, M., MACHELLO, N., SILANO, M., és NEUHOLD, S. (2018). Nutritional composition of gluten-free food versus regular food sold in the Italian market. *Digestive Liver Diseases*, 50, 1305–1308. p.
- COTOVANU, I., GEORGETA, S., és MIRONEASA, S. (2020). Amaranth influence on wheat flour dough rheology: optimal particle size and amount of flour replacement. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Science*, 10, 366-373. p.
- CROALL, I. D., HOGGARD, N., és HADJIVASSILIOU, M. (2021). Gluten and autism spectrum disorder. *Nutrients*, 13, 572-591. p.
- CROCKETT, R., IE, P., és VODOVOTZ, Y. (2011). Effects of soy protein isolate and egg white solids on the physicochemical properties of gluten-free bread. *Food Chemistry*, 129, 84-91. p.
- CZAJA-BULSA, G. (2015). Non coeliac gluten sensitivity - A new disease with gluten intolerance. *Clinical Nutrition*, 34(2), 189-194. p.
- CZIRJÁK, L. (2006). Klinikai immunológia. *Medicina kiadó*, Budapest.
- CSAPÓ, J., és CSAPÓNÉ, K.ZS. (2003). Élelmiszer-kémia, *Mezőgazda kiadó*, Budapest.
- CSAPÓNÉ, R.T., és PÉNTEK, Á. (2018). Kenyér készítési és fogyasztási szokások a gluténmentes diétában. *International Journal of Engineering and Management Sciences*, 3, 252-262. p.
- DALE, H.F., BIESIEKIERSKI, J.R., és LIED, G.A. (2018). Non-coeliac gluten sensitivity and the spectrum of gluten-related disorders: an updated overview. *Nutrition Research Reviews*, 32, 28–37. p.
- DALMADI, I., SEREGÉLY, Z., KAFFKA, K., és FARKAS, J. (2007). Néhány többváltozós kemometriai módszer alkalmazása műszeres analitikai vizsgálatok értékelésére. *Élelmiszervizsgálati Közlemények*, 3, 4. p.

- DE LA HERA, E., TALEGÓN, M., CABALLERO, P., és GÓMEZ, M. (2013). Influence of maize flour particle size on gluten-free breadmaking. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(4), 924-932. p.
- DEMIRKESEN, I., KELKAR, S., CAMPANELLA, H.O., SUMNU, G., SAHIN, S., és OKOS, M. (2014). Characterization of structure of gluten-free breads by using X-ray microtomography. *Food Hydrocolloids*, 36, 37-44. p.
- DIGIACOMO, D.V., TENNYSON, C.A., GREEN, P.H., és DEMMER, R.T. (2013). Prevalence of gluten-free diet adherence among individuals without celiac disease in the USA: Results from the Continuous National Health and Nutrition Examination Survey 2009–2010. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, 48, 921–925. p.
- DUODU, K.G., és TAYLOR, J.R.N. (2012). The quality of breads made with non-wheat flours. In *Breadmaking*. Woodhead Publishing: Cambridge, UK, 754–782.p.
- ELGETI, D., JECKLE, M., és BECKER, T. (2015). Strategies for the aeration of gluten-free bread – A review. *Trends in Food Science Technology*, 46, 75-84. p.
- EC 828/2014 rendelet: a fogyasztóknak az élelmiszerek gluténmentessége vagy csökkentett gluténtartalma tekintetében nyújtott tájékoztatásra vonatkozó követelményekről. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=CELEX:32014R0828&from=HU>.
Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: 828/2014 EC rendelet. Lekérdezés időpontja: 2017.13.10.
- FAOSTAT (2021). Producer Prices of selected cereals. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/PP>.
Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: Cereal global price trend. Lekérdezés: 2021.06.07.
- FARKAS, A., SZEPESVÁRI, P., NÉMETH, R., BENDER, D., SCHOENLECHNER, R., és TÖMÖSKÖZI, S. (2021). Comparative study on the rheological and baking behaviour of enzyme-treated and arabinoxylan-enriched gluten-free straight dough and sourdough small-scale systems. *Journal of Cereal Science*, 101, 103292.
- FEIZOLLAHI, E., MIRMOGHATAIE, L., MOHAMMADIFAR, M.A., JAZAERI, S., HADAEGH, H., NAZARI, B., és LALEGANI, S. (2018). Sensory, digestion, and texture quality of commercial gluten-free bread: Impact of broken rice flour type. *Journal of Texture Studies*, 49, 395-403. p.

- FERREIRA, S.M., CALIARI, M., JÚNIOR, M.S.S., és BELEIA, A.D.P. (2014). Infant dairy-cereal mixture for the preparation of a gluten free cream using enzymatically modified rice flour. *LWT Food Science Technology*, 59(2), 1033-1040. p.
- FIRTHA, F. (2011). Argus softver. Budapest
- FIRTHA, F., és ÉDER, G. (2012). CuBrowser Matlab algorythm. Budapest
- FOSCHIA, M., HORSTMANN, S., ARENDT, E.K., és ZANNINI, E. (2016). Nutritional therapy - Facing the gap between coeliac disease and gluten-free food. *International Journal of Food Microbiology*, 239, 113–124. p.
- FRY, L., MADDEN, A.M., és FALLAIZE, R. (2018). An investigation into the nutritional composition and cost of gluten-free versus regular food products in the UK. *Journal of Human Nutrition and Dietetic Association*, 31, 108–120. p.
- GAESSER, G.A., és ANGADI, S.S. (2012). Gluten-free diet: imprudent dietary advice for the general population?. *Journal of Academic Nutrition and Diet*, 112, 1330–1333. p.
- GAESSER G.A. , ANGADI, S.S. (2015). Navigating the gluten-free boom. *Journal of the American Academy of Physician Assistants*, 28(8), Article 26208009.
- GALLAGHER, E., GORMLEY, T.R., és ARENDT, E.K. (2003). Crust and crumb characteristics of gluten free breads. *Journal of Food Engineering*, 56, 153-161. p.
- GAMBUS, H., GAMBUS, F., és SABAT, R. (2002). The research on quality improvement of gluten-free bread by amaranthus flour addition. *Zywnosc-Nauka Technologia*, 9, 99-112. p.
- GIRI, N.A., és SAKHALE, B.K. (2021). Effects of incorporation of orange-fleshed sweet potato flour on physicochemical, nutritional, functional, microbial, and sensory characteristics of gluten-free cookies. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(4), e15324.
- GLOBENEWSWIRE (2020). Global Gluten free products (Food) market size will reach USD 36 billion by 2026: Facts & Factors. <https://www.globenewswire.com/news-release/2020/11/09/2122635/0/en/Global-Gluten-Free-Products-Food-Market-Size-Will-Reach-USD-36-Billion-by-2026-Facts-Factors.html>. Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: Gluten-free market growth. Lekérdezés: 2021.01.04.

- GODDARD, C. J. R., és GILLETT, H. R. (2006). Complications of coeliac disease: are all patients at risk?. *Postgraduate Medical Journal*, 82(973), 705-712. p.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2660494/>. Keresőprogram: Google.
 Kulcsszavak:Coeliac disease. Lekérdezés időpontja: 2020.10.06.
- GOMOLMANEE, N., SANGUANDEEKUL, R., KUPONGSAK, S., és TANTRATIAN, S. (2012). Differential scanning calorimetry analysis on effects of storage temperature and water content on retrogradation of concentrated rice starches system. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 3(3), 26-36. p.
- GIERSEIPEN, K., LELGEMANN, M., STUHLREHER, N., RONFANI, L., HUSBY, S., KOLETZKO, S., és KORPONAY-SZABÓ, R.I. (2012). Accuracy of Diagnostic Antibody Tests for Coeliac Disease in Children: Summary of an Evidence Report. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 54(2), 229-241. p.
- GUJRAL, H., és ROSELL, C. (2004a). Functionality of rice flour modified with a microbial transglutaminase. *Journal of Cereal Science*, 39, 225-230. p.
- GUJRAL, H., és ROSELL, C. (2004b). Improvement of the breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase. *Food Research International*, 37, 75-81. p.
- HAGER, A.S., WOLTER, A., YANNINI, E., és ARENDT, E.K. (2012a). Nutritional properties and ultra-structure of commercial gluten free flours from different botanical sources compared to wheat flours. *Journal of Cereal Science*, 56, 239-247. p.
- HAGER, A.S., WOLTER, A., CZERNY, M., BEZ, J., ZANNINI, E., és ARENDT, E.K. (2012b). Investigation of product quality, sensory profile and ultrastructure of breads made from a range of commercial gluten-free flours compared to their wheat counterparts. *European Food Research and Technology*, 235, 333-344. p.
- HAGER, A.S., és ARENDT, K.E. (2013). Influence of hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), xanthan gum and their combination on loaf specific volume, crumb hardness and crumb grain characteristics of gluten-free breads based on rice, maize, teff and buckwheat. *Food Hydrocolloids*, 32, 195-203. p.
- HALMOS, E.P., DENG, M., KNOWLES, S.R., SAINSBURY, K., MULLAN, B., és TYE-DIN, J.A. (2018). Food knowledge and psychological state predict adherence to a gluten-free diet

- in a survey of 5310 Australians and New Zealanders with coeliac disease. *Alimentary pharmacology and Therapeutics*, 48, 78-86. p.
- HARASZI, R., (2002). Gabonacsíra- és amarant fehérjék funkcionális jellemzése modell és komplex rendszerekben. PhD értekezés, *Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem*, Biokémiai és Élelmiszertechológiai Tanszék
- HORSTMANN, S.W., BELZ, C.E.M., HEITMANN, M., ZANNINI, E., and ARENDT, E.K. (2016). Fundamental study on the impact of gluten-free starches on the quality of gluten-free model breads. *Foods*, 5(2), 30.
- HORSTMANN, S.W., FOSCHIA, M., és ARENDT, E.K. (2017a). Correlation analysis of protein quality characteristics with gluten-free bread properties. *Food and Function*, 8, 2465-2474. p.
- HORSTMANN, S.W., LYNCH, K.M., és ARENDT, E.K. (2017b). Starch characteristics linked to gluten-free products. *Foods*, 6(4), 29.
- HORSTMANN, S.W., AXEL, C., és ARENDT, E.K. (2018). Water absorption as a prediction tool for the application of hydrocolloids in potato starch-based bread. *Food Hydrocolloids*, 81, 129-138. p.
- HUBBARD, A. (2014). Polysaccharides I. <https://slideplayer.com/slide/5876875/> Keresőporgram: Google. Kulcsszavak: starch gelatinization, heat treatment of starch. Lekérdezés időpontja: 2015.11.23.
- JAMIESON, J.A., és GOUGEON, L. (2017). Gluten-Free Foods in Rural Maritime Provinces: Limited Availability, High Price, and Low Iron Content. *Canadian Journal of Dietetic Practise and Research*, 78, 192–196. p.
- JONES, A.L. (2017). The Gluten-Free Diet: Fad or Necessity?. *Diabetes spectrum: a publication of the American Diabetes Association*, 30(2), 118–123. p.
- JUHÁSZ, M. (2002). Coeliakia, a provokált autoimmun betegség modellje. Előadásanyag, *Magyar Gasztroenterológiai Társaság 44. nagygyűlése*, Balatonaliga.

- JUHÁSZ, M., KOCSIS D., ZÁGONI T., MIHELLER P., HERSZÉNYI L., és TULASSAY ZS. (2012): Coeliakiacentrum tízéves beteganyagának retrospektív feldolgozása. *Orvosi Hetilap*, 153, 776–785. p.
- JUSZCZAK, L., WITCZAK, T., ZIOBORO, R., KORUS, J., CIESLIK, E., és WITCZAK, M. (2012). Effect of inulin on rheological and thermal properties of gluten-free dough. *Carbohydrate Polymers*, 90, 353-360. p.
- KAMINSKI, M., SKONIECZNA-ZYDECKA, K., NOWAK, J.K., és STACHOWSKA, E. (2020a): Global and local diet popularity rankings, their secular trends and seasonal variation in Google Trends data. *Nutrition*, 79-80, Article 110759.
- KAMINSKI, M., NOWAK, J.K., SKONIECZNA-ZYDECKA, K., és STACHOWSKA, E. (2020b): Gluten-free diet yesterday, today and tomorrow: Forecasting using Google Trends data. *Arab Journal of Gastroenterology*, 21, 67-68. p.
- KIM, H.J., MORITA, N., LEE, S.H., és MOON, K.D. (2003). Scanning electron microscopic observations of dough and bread supplemented with *Gastroid elata* blume powder. *Food Research International*, 36, 387-397. p.
- KOEHLER, P., BOESWETTER, A. R., SCHERF, K. A., és SCHIEBERLE, P. (2019). Identification of the key aroma compounds in gluten-free rice bread. *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 67, 2963-2972. p.
- KOJIC, D., TSENKOVA, R., TOMOBE, K., YASUOKA, K., és YASUI, M. (2014). Water confined in the local field of ions. *Chemical Physical Chemistry*, 15(18), 4077-4086. p.
- KÓKAI, Z., és SIPOS, L. (2020). Érzékszervi vizsgálatok, Élelmiszeripari Kézikönyv 7., *Nemzeti Agrárgazdasági Kamara*, 1. kiadás, Budapest.
- KRUPA-KOZAK, U., BACZEK, N., és ROSELL, C.M. (2013). Application of diary proteins as technological and nutritional improvers of calcium-supplemented gluten-free bread. *Nutrients*, 5, 4503-4520. p.
- KUSUNOSE, C., FUJII, T., és MATSUMOTO, H. (1999). Role of starch granules in controlling expansion of dough during baking. *Cereal Chemistry*, 76, 920-924. p.

- LAUREATI, M., GIUSSANI, B., és PAGLIARINI, E. (2012). Sensory and hedonic perception of gluten-free bread: Comparison between celiac and non-celiac subjects. *Food Research International*, 46, 326-333. p.
- LAZARIDOU, A., DUTA, D., PAPAGEORGIOU, M., BELC, N., és BILIADERIS, C.G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79, 1033-1047. p.
- LEEDS, J. S., HOPPER, A. D., és SANDERS, D. S. (2008). Coeliac disease. *British Medical Bulletin*, 88(1), 157-170. p.
- LERNER, A., és MATTHIAS, T. (2015). Rheumatoid arthritis- celiac disease relationship: Joints get that gut feeling. *Autoimmunity Reviews*, 14, 1038-1047. p.
- LIN, L.Y., HSIEH, Y.J., LEE, C.C., és MAU, J.L. (2009). Flavor components in buckwheat bread. *Journal of Food Processing and Preservation*, 33, 814-826. p.
- LIN, X., XU, J. L., és SUN, D.W. (2020a). Evaluating drying feature differences between ginger slices and splits during microwave-vacuum drying by hyperspectral imaging technique. *Food Chemistry*, 332, Article 127407.
- LIN, S., GAO, J., JIN, X., WANG, Y., DONG, Z., YING, J., és ZHOU, W. (2020b). Whole-wheat flour particle size influences dough properties, bread structure and in vitro starch digestibility. *Food and Function*, 11(4), 3610-3620. p.
- LIU, D., SUN, D.W., és ZENG, X.A. (2014). Recent advances in wavelength selection techniques for hyperspectral image processing in the food industry. *Food and Bioprocess Technology*, 7, 307-323. p.
- LIU, X.L., MU, T.H., SUN, H.N., ZHANG, M., CHEN, J.W. és FAUCONNIER, M.L. (2018). Influence of different hydrocolloids on dough thermo-mechanical properties and in vitro starch digestibility of gluten-free steamed bread based on potato flour. *Food Chemistry*, 239, 1064-1074. p.
- LEMOES, A., CAPRILES V.D., SILVA, M., és AREAS, J.A.G. (2012). Effect of incorporation of amaranth on the physical properties and nutritional value of cheese bread. *Food Sciences and Technology*, 32(3), 427-431. p.

LU, Z., ZHANG, H., LUOTO, S., és REN, X. (2018). Gluten-free living in China: The characteristics, food choices and difficulties in following a gluten-free diet – An online survey. *Appetite*, 127, 242-248. p.

MAGYAR ÉLELMISZERKÖNYV I. kötet, 2-95/2.2. § q) fejezete

MAGYAR ÉLELMISZERKÖNYV, II. kötet, 21. pont, 21.03, 21.12, 21.18. alfejezet

MAJOR, A. (2008). Az egyetemi és főiskolai hallgatók sörfogyasztási szokásainak vizsgálata internet alapú megkérdezéssel. PhD értekezés, *Budapesti Corvinus Egyetem*.

MANCEBO, C.M., SAN MIGUEL, M.A., MARTÍNEZ, M.M., és GOMEZ, M. (2014). Optimisation of rheological properties of gluten-free doughs with HPMC, psyllium and different levels of water. *Journal of Cereal Science*, 61, 8-15. p.

MARCINIAK-LUKASIAK, K., és SKRZYPACZ, M. (2008). Gluten-free bread concentrate with addition of amaranthus flour. *Zywnosc-Nauka Technologia*, 15, 131-140. p.

MARCO, C., és ROSELL, C.M. (2008). Functional and rheological properties of protein enriched gluten free composite flours. *Journal of Food Engineering*, 88, 94-103. p.

MARIOTTI, M., LUCISANO, M., AMBROGINA PAGANI, M., és NG, P.K.W. (2009). The role of corn starch, amaranth flour, pea isolate and Psyllium flour on the rheological properties and the ultrastructure of gluten-free doughs. *Food Research International*, 42, 963-975. p.

MARIOTTI, M., PAGANI, M.A., és LUCISANO, M. (2012). The role of buckwheat and HPMC on the breadmaking properties of some commercial gluten-free bread mixtures. *Food Hydrocolloids*, 30, 393-400. p.

MARTÍNEZ, M.M., DIAZ, A., és GÓMEZ, G. (2014). Effect of different microstructural features of soluble and insoluble fibres on gluten-free dough rheology and bread-making. *Journal of Food Engineering*, 142, 49-56. p.

MARTÍNEZ, M.M., és GÓMEZ, M. (2017). Rheological and microstructural evolution of the most common gluten-free flours and starches during bread fermentation and baking. *Journal of Food Engineering*, 197, 78–86. p.

- MATOS, M.E, és ROSELL, C.M. (2012). Relationship between instrumental parameters and sensory characteristics in gluten-free breads. *European Food Research and Technology*, 235, 107-117. p.
- MATOS, M.E., és ROSELL, C.M. (2014). Understanding gluten-free dough for reaching breads with physical quality and nutritional balance. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95, 653-661. p.
- MATTHEW, J. A., GERRY, G. R., és HOWDLE, D. P. (2009). Recent advances in coeliac disease. *Current Opinion in Gastroenterology*, 25, 100-109. p.
- MAZAIZE, S., CHEVALLIER, S., Le BAIL, A., és De LAMBALLERIE, M. (2009). Optimazation of gluten-free formulations for French-style breads. *Journal of Food Science*, 74(3), 140-146. p.
- MAZZEO, T., BRAMBILLASCA, F., PELLEGRINI, N., VALMARANA, R., CORTI, F., COLOMBO, C., és AGOSTONI, C. (2014). Evaluation of visual and taste preferences of some gluten-free commercial products in a group of celiac children. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 65, 112–116. p.
- MBURU, M.W., GIKONYO, N.K., KENJI, G.M., és MWASARU, A.M. (2012). Nutritional and functional properties of a complementary food based on Kenyan amaranth grain. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 12(2), 5959-5977. p.
- MELINI, F., MELINI, V., LUZIATELLI, F., és RUZZI, M. (2017). Current and forward-lloking approaches to technological and nutritional improvements of gluten-free bread with legume flours: A critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(5), 1101-1122. p.
- MERETEI, A. (2012). Módszer kenyérbélzet állományjellemezőinek meghatározására. PhD értekezés, *Budapesti Corvinus Egyetem*.
- MILLS, E.N.C., PARKER, M.L., WELLNER, N., TOOLE, G., FEENEY, K., és SHEWRY, P.R. (2005). Chemical imaging: the distribution of ions and molecules in developing and mature wheat grain. *Journal of Cereal Science*, 41(2), 193-201. p.

- MISSBACH, B., SCHWINGSHACKL, L., BILLMANN, A., MYSTEK, A., HICKELBERGER, M., BAUER, G., és KÖNIG, J. (2015). Gluten-free food database: the nutritional quality and cost of packaged gluten-free foods.
- MOHD FAUAD, S.N.A., KAUR, S., és SHAFIE, S.R. (2020). Nutritional composition and cost differences between gluten-free and gluten-containing food products in Kuala Lumpur, Malaysia. *Malaysian Journal of Medicine and Health Sciences*, 16, 178-183. p.
- MOLINA-INFANTE, J., SANTOLARIA, S., SANDERS, D.S., és FERNANDEZ-BANARES, F. (2015). Systematic review: Noncoeliac gluten sensitivity. *Alimentary Pharmacology and Therapeutics*, 41(9), 807-820. p.
- MOLNÁR, P. (1995). Élelmiszerek érzékszervi vizsgálata, *Akadémiai Kiadó*, Budapest.
- MOORE, M.M., SCHOBER, T.J., DOCKERY, P., és ARENDT, E.K. (2004). Textural comparisons of gluten-free and wheat-based doughs, batters, and breads. *Cereal Chemistry*, 81, 567-575. p.
- MOORE, M., HEINBOCKEL, M., DOCKERY, P., ULMER, H., és ARENDT, K.E. (2006). Network formation in gluten-free bread with application of transglutaminase. *Cereal Chemistry*, 83, 28-36. p.
- MORONI, A., DAL BELLO, F., YANNINI, E., és ARENDT, K.E. (2011). Impact of sourdough on buckwheat flour, batter and bread: Biochemical, rheological and textural insights. *Journal of Cereal Science*, 54, 195-202. p.
- MSZ 20501-2:2018 (2018). Sütőipari termékek vizsgálati módszerei. 2.rész: Kenyerek és vajaskifli érzékszervi vizsgálata. Magyar Szabványügyi Testület, Budapest.
- NADAL, I., DONAT, E., RIBES-KNONINCKX, C., CALABUIG, M., és SANZ, Y. (2007). Imbalance in the composition of the duodenal microbiota of children with coeliac disease. *Journal of Medical Microbiology*, 56, 1669-1674. p.
- NAQASH, F., GANI, A., GANI, A., és MASOODI, F.A. (2017). Gluten-free baking: Combating the challenges – A review. *Trends in Food Science and Technology*, 66, 98-107. p.
- NÁDOSI, M. (2005): Búzaliszt vizsgálata. Budapesti Műszaki Egyetem, *Biokémiai és Élelmiszertechnológiai Tanszék*, 5. p.

- NÉMEDI, E. (2009). Molekuláris biológiai módszerek fejlesztése gluténmentesség ellenőrzésére. PhD értekezés, *Központi Élelmiszer Kutató Intézet*, Budapest.
- NÉMET PÉKSZÖVETSÉG (2020). Németországi kenyérfogyasztási adatok. <http://www.baeckerhandwerk.de/baeckerhandwerk/zahlen-fakten/brotverbrauch-und-brotkorb-der-deutschen/>. Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: Brotverbrauch in Deutschland. Lekérdezés időpontja: 2021.04.25.
- NICOLAE, A., RADU, G.L., és BELC, N. (2016). Effect of sodium carboxymethyl cellulose on gluten-free dough Rheology. *Journal of Food Engineering*, 168, 16-19. p.
- NICOLAS, V., SALAGNAC, P., GLOUANNEC, P., PLOTEAU, J.P., JURY, V., és BOILLEREAUX, L. (2014). Modelling heat and mass transfer in deformable porous media: Application to bread baking. *Journal of Food Engineering*, 130, 23-35. p.
- NEWBERRY, C., MCKNIGHT, L., SARAV, M., és PICKETT-BLAKELY, O. (2017). Going Gluten Free: the history and nutritional implications of today's most popular diet. *Current Gastroenterol Reports*, 19, 54. p.
- NÉMETH, R., FARKAS, A., és TÖMÖSKÖZI, S. (2019). Investigation of the possibility of combined macro and micro test baking instrumentation methodology in wheat research. *Journal of Cereal Science*, 87, 239-247. p.
- NGADI, M. O., HUANG, H., és LIU, L. (2014). Recent developments in Hyperspectral Imaging for Assessment of Food Quality and Safety. *Sensors*, 14, 7248-7276. p.
- NGEMAKWE, P.H.N., LE ROES-HILL, M., és JIDEANI, V.A. (2015). Advances in gluten-free bread technology. *Food Science and Technology International*, 21(4), 256-276. p.
- NUNES, M.H.B., RYAN, L.A.M., és ARENDT, E.K. (2009). Effect of low lactose dairy powder addition on the properties of gluten-free batters and bread quality. *European Food Research and Technology*, 229 (1), 31-41. p.
- ONYANGO, C., MUTUNGI, C., UNBEHEND, G., és LINDHAUER, M.G. (2011). Modification of gluten-free sorghum batter and bread using maize, potato, cassava or rice starch. *Food Science and Technology*, 44, 681-686. p.

- ORTOLANI, C. ÉS PASTORELLO, E.A. (2006). Food allergies and food intolerances. *Best Practise and Research Clinical Gastroenterology*, 20(3), 467-483. p.
- OZOLA, L., és STRAUMITE, E. (2012). Consumers' attitude towards availability and quality of gluten-free products in the Latvian market. *Research for Rural Development*, 1, 149-154. p.
- PACIULLI, M., RINALDI, M., CIRLINI, M., SCAZZINA, F., és CHIAVARO, E. (2016). Chestnut flour addition in commercial gluten-free bread: A shelf-life study. *LWT - Food Science and Technology*, 70, 88-95. p.
- PACYNSKI, M., WOJTASIA R.Z., MILDNER-SZKUDLARZ S. (2015). Improving the aroma of gluten-free bread. *LWT-Food Science and Technology*, 63, 706–713. p.
- PAGLIARINI, E., LAUREATI, M., és LAVELLI, V. (2010). Sensory evaluation of gluten-free breads assessed by a trained panel of celiac assessors. *European Food Research and Technology*, 231, 37–46. p.
- PARRAG, V. (2020). Termények hibáinak detektálása, minőségi paraméterek jellemzése optikai módszerek alkalmazásával. Doktori értekezés, *Szent István Egyetem, Élelmiszertudományi Kar, Fizika-Automatika Tanszék*, Budapest.
- PHILLIPS, G., és WILLIAMS, P. (2020). Handbook of hydrocolloids. Woodhead Publishing, 3. kiadás, 27. fejezet, 833-853. p.
- PHONGTHAI, S., D'AMICO, S., SCHOENLECHNER, R., és RAWDKUEN, S. (2016). Comparative study of rice bran protein concentrate and egg albumin on gluten-free bread properties. *Journal of Cereal Science*, 72, 38-45. p.
- PICO, J., BERNAL, J. L., és GOMEZ, M. (2017a). Influence of different flours and starches on gluten-free bread aroma. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 1433-1441. p.
- PICO, J., MARTINEZ, M. M., BERNAL, J., és GOMEZ, M. (2017b). Evolution of volatile compounds in gluten-free bread: From dough to crumb. *Food Chemistry*, 227, 179-186. p.
- PICO, J., ANTOLIN, B., ROMAN, L., GOMEZ, M., és BERNAL, J. (2018). Analysis of volatile compounds in gluten-free bread crusts with an optimised and validated SPME-GC/QTOF methodology. *Food Research International*, 106, 686-695. p.

- PICO, J., REGUILON, M.P., BERNAL, J., és GOMEZ, M. (2019). Effect of rice, pea, egg white and whey proteins on crust quality of corn starch based gluten-free breads. *Journal of Cereal Science*, 86, 92-101. p.
- PIGA, A., CONTE, P., DEL CARO, A., URGEGHE, P. P., MONTANARI, L., és FADDA, C. (2020). Nutritional and aroma improvement of gluten-free bread: is bee pollen effective?. *LWT- Food Science and Technology*, 118, Article 108711.
- POLLNER, B., és KOVÁCS, Z. (2016). Multivariate data analysis tools for R, including aquaphotomics methods, aquap 2.
- POTTER, R., STOJCESKA, V., és PLUNKETT, A. (2014). An investigation of the consumer perception on the quality of the gluten and wheat free breads available on the UK market. *Food Measure*, 8, 362-372. p.
- PUERTA, P., LAGUNA, L., VILLEGAS, B., RIZO, A., FISZMAN, S., és TARREGA, A. (2020). Oral processing and dynamics of texture perception in commercial gluten-free breads. *Food Research International*, 134, Article 109233.
- ROMAN, L., BELORIO, M., és GOMEZ, M. (2019). Gluten-free breads: The gap between research and commercial reality. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18, 690-702. p.
- RONDA, F., és ROOS, Y.H. (2008). Gelatization and freeze-concentration effects on recrystallization in corn and potato starch gels. *Carbohydrate Research*, 343(5), 903-911. p.
- RONDA, F., PEREZ-QUIRCE, S., és VILLANUEVA, M. (2017). Rheological properties of gluten-free bread doughs: relationship with bread quality. *Advances in Food Rheology and Applications*, 297–334. p.
- ROSZKOWSKA, A., PAWLICKA M., MROCZEK A., BAŁABUSZEK K., és NIERADKO-IWANICKA, B. (2019). Non-Celiac Gluten Sensitivity: A Review. *Medicina*, 55, 222. p.
- ROSTAMI-NEJAD, M., ASHTARI, S., POURHOSEINGHOLI, M.A., ROSTAMI, K., AGHDAEI, H.A., BUSANI, L., TAVIRANI, M.R., és ZALI, M.R. (2019). Prevalence of Gluten-Related Disorders in Asia-Pacific Region: A Systematic Review. *Journal of Gastrointestinal Liver Diseases*, 28, 95-105. p.

- RYBICKA, I., DOBA, K., és BINCZAK, O. (2019). Improving the sensory and nutritional value of gluten-free bread. *International Journal of Food Science and Technology*, 54, 2661–2667. p.
- SAHA, D., és BATTHACHARYA, S. (2010). Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: a critical review. *Journal of Food Science and Technology*, 47(6), 587-597. p.
- SAHIN, A.W., WIERTZ, J., és ARENDT, E.K. (2020). Evaluation of a new method to determine the water addition level in gluten-free bread systems. *Journal of Cereal Science*, 93, 102971.
- SANCHEZ, H.D., OSELLA, C.A., és DE LA TORRE, M.A. (2004). Use of surface methodology to optimize gluten-free bread fortified with soy and dry milk. *Food Science and Technology International*, 10, 5-9. p.
- SAVITZKY, A., és GOLAY, M.J.E. (1964). Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. *Analytical Chemistry*, 36(8), 1627-1639. p.
- SCHUPPAN, D., és HAHN, E. G. (2002). Biomedicine: Gluten and the gut - Lesson for immune regulation. *Science*, 297(5590), 2218-2220. p.
- SHEWRY, P., D'OVIDIO, R., LAFIANDRA, D., JENKINS, J., MILLS, E.N.C., és BEKES, F. (2009). Wheat grain proteins. *Wheat Chemistry and Technology*, 4, 223-298.
- SINGH, N., SINGH, J., KAUR, L., SINGH SODHI, N., és SINGH GILL, B. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 81(2), 219-231. p.
- SIVARAMAKRISHNAN, H.P., SENGE, B., és CHATTOPADHYAY, P.K., (2004). Rheological properties of rice dough for making rice bread. *Journal of Food Engineering*, 62, 37-45. p.
- SHEVKANI, K., és SINGH, N. (2014). Influence of kidney bean, field pea and amaranth protein isolates on the characteristics of starch-based gluten-free muffins. *International Journal of Food Science and Technology*, 49(10), 2237-2244. p.
- SLUKOVÁ, M., LEVKOVÁ, J., MICHALCOVÁ, A., HORÁCKOVÁ, S., és SKRIVAN, P. (2017). Effect of dough mixing process on the quality of wheat and buckwheat proteins. *Czech Journal of Food Science*, 35(6), 522-531. p.

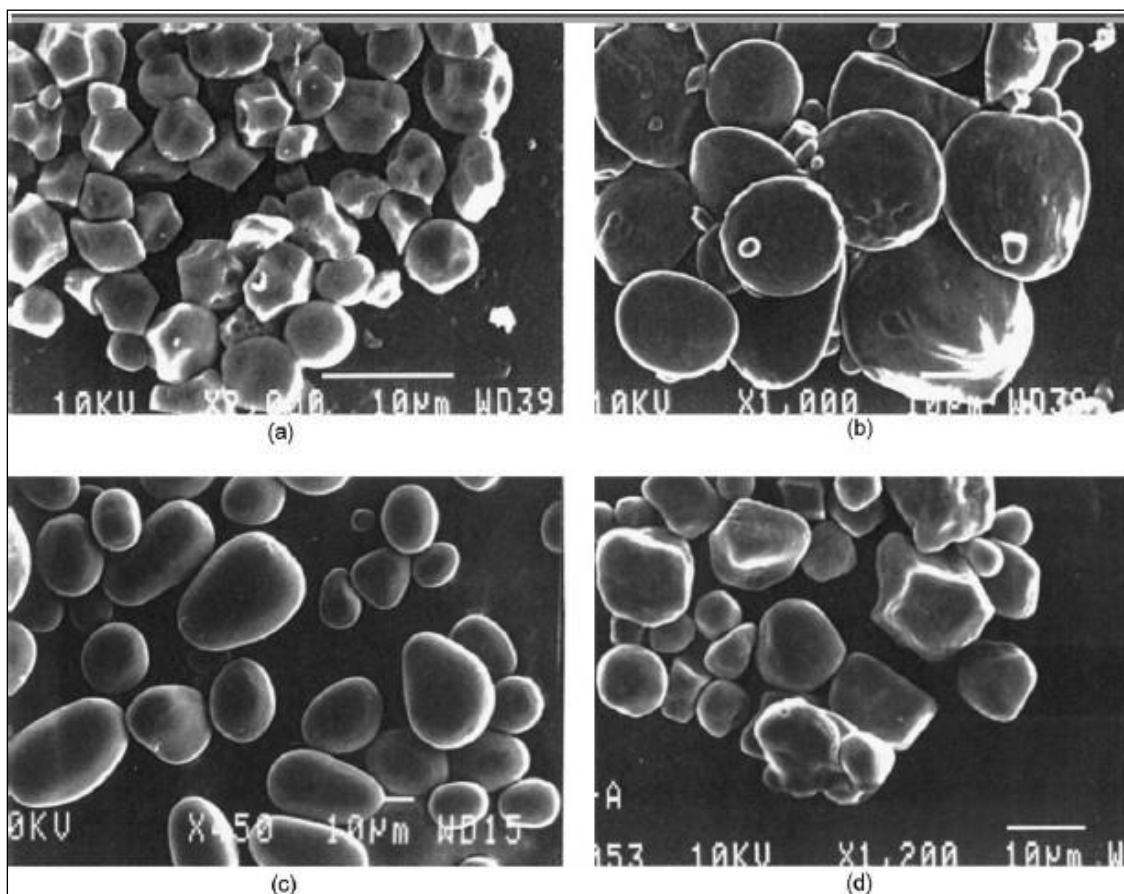
- STANDARD F2011C00537: Australia New Zealand Food Standards Code – Standard 1.2.8-Nutrition Information Requirements. 16. fejezet.
<https://www.legislation.gov.au/Details/F2011C00537>. Keresőprogram: Google.
 Kulcsszavak: Gluten regulation Australia. Lekérdezés időpontja: 2014.03.10.
- STATISTA (2020). Gluten-free food market value worldwide 2020-2025.
<https://www.statista.com/statistics/248467/global-gluten-free-food-market-size/>.
 Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: Gluten-free market growth. Lekérdezés: 2021.01.04.
- STONE, H., BLEIBAUM R.N., és THOMAS H.T. (2012). Sensory Evaluation Practices, 4. kiadás, *Academic Press*, 421-438. p.
- STONE INSIDER (2019). Felmérték a hazai kenyérvásárlási szokásokat.
http://storeinsider.hu/gazdasag/cikk/felmertek_a_hazai_kenyervasarlasi_szokasokat.
 Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: Kenyérfogyasztás Magyarországon. Lekérdezés: 2020.01.03.
- STORCK, C.R., ZAVAREZA, E. R., GULARTE, M.A., ELIAS, M.C., ROSELL, C.M., és GUERRA DIAS, A.R. (2013). Protein enrichment and its effects on gluten-free bread characteristics. *Food Science and Technology*, 53, 346-354. p.
- SUTRISNO, A., Yuwono, S.S., és IKARINI, I. (2021). Effect of glucomannan and xanthan gum proportion on the physical and sensory characteristic of gluten-free bread. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 924, 012028
- SZALAY, D.K. (2014). Távérzékelésre és spektroszkópiára alapozott őszi búza fajtaazonosító eljárás. PhD értekezés, *Szent István Egyetem*.
- TAMÁS, Á. (2010). Fehérje-analitikai módszerek megbízhatóságának vizsgálata gabonakémiában. Szakdolgozat, *Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem*, Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék, Budapest.
- TEKINER, H. (2015). Aretaeus of Cappadocia and His Treatises on Diseases. *Turkish Neurosurgery*, 25(3), 508-512. p.
- TENNYSON, C. A., LEWIS, S. K., és GREEN, P. H. R. (2009). New and developing therapies for celiac disease. *Therapeutic Advances in Gastroenterology*, 2(5), 303-309. p.

- TÉGLÁSY, N. (2017). A speciális étrendű fogyasztók szokásai és a magyarországi kínálat. Szakdolgozat, *Budapesti Gazdasági Egyetem, Külkereskedelmi Kar, Marketing Szak*, Budapest.
- TORBICA, A., HADNADEV, M., és DAPCEVIC, T. (2010). Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour. *Food Hydrocolloids*, 24, 626-632. p.
- TÖMÖSKÖZI, S., LÁSZTITY, R., HARASZI, és R., BATICZ, O. (2001). Isolation and study of the functional properties of pea proteins. *Die Nahrung*, 45(6), 399-401. p.
- TŐZSDEÁSZ, (2021). 10 éves Euró (EUR/HUF) árfolyam grafikon. <https://www.tozsdeasz.hu/eur-huf-arfolyam-grafikon-10-ev-cop0/>. Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: Euro forint árfolyam változások. Lekérdezés: 2021.07.10.
- TRES, A., TARNOVSKA, N., és VARONA, E. (2020). Determination and Comparison of the Lipid Profile and Sodium Content of Gluten-Free and Gluten-Containing Breads from the Spanish Market. *Plant Foods for Human Nutrition*, 75, 344–354. p.
- TSENKOVA, R. (2009). Aquaphotometrics: Dynamic spectroscopy of aqueous and biological system describes peculiarities of water. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 17(6), 303-313. p.
- TSENKOVA, R., MUNCAN, J., POLLNER, B., és KOVÁCS, Z. (2018). Essentials of Aquaphotomics and its chemometrics approaches. *Frontiers in Chemistry*, 6, 363. p.
- TURNBULL, J.L., ADAMS, H.N., és GORARD, D.A. (2015). The diagnosis and management of food allergy and food intolerances (review). *Alimentary Pharmacology and Therapeutics*, 41(1), 3-25. p.
- VAN GILS, T., NIJEBOER, P., IJSSENNAGGER, C.E., SANDERS, D.S., MULDER, C.J.J., és BOUMA, G. (2016). Prevalence and Characterization of Self-Reported Gluten Sensitivity in The Netherlands. *Nutrients*, 8. Available online: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5133100/> (accessed on 28 January 2019).
- VAN RIEMSDIJK, L.E., PELGROM, J.M.P., van der GOOT, A.J., BOOM, R.M., HAMER, R.J. (2011). A novel method to prepare gluten-free dough using a meso-structured whey protein particle system. *Journal of Cereal Science*, 53, 133-138. p.

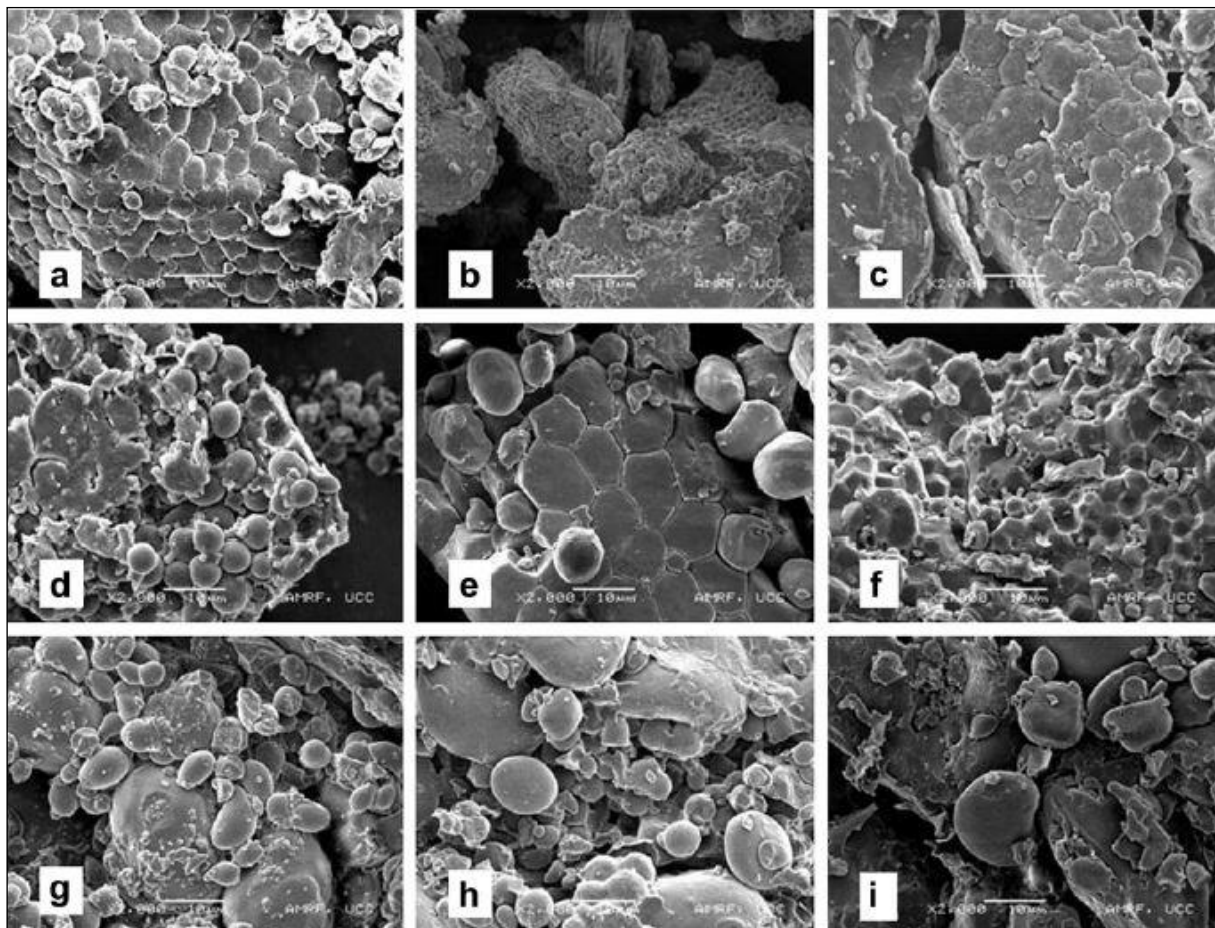
- VRIEZINGA, S.L, SCHWEIZER, J.J, KONING, F., és MEARIN, M.L. (2015). Coeliac disease and gluten-related disorders in childhood. *Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology*, 12(9), 527-536. p.
- WAGA, J. (2004). Structure and allergenicity of wheat gluten proteins. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 13(54), 327-338. p.
- WANG, J. S., ZHI-JAN, W., KE, B., és MOU-MING, Z. (2009). Characteristics of enzymatic hydrolysis of thermal-treated wheat gluten. *Journal of Cereal Science*, 50, 205-208. p.
- WATSON, E. (2013). Health/weight-conscious consumers are driving the gluten-free market, not celiacs. <https://www.foodnavigator-usa.com/Article/2013/10/15/Healthy-eaters-dieters-not-celiacs-propelling-gluten-free-market>. Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: Gluten-free market growth. Lekérdezés: 2017.01.04.
- WICZAK, M., ZIOBRO, R., JUSZCZAK, L., és KORUS, J. (2015). Starch and starch derivatives in gluten-free systems. *Journal of Cereal Science*, 67, 46-57. p.
- WOJCIK, M., ROZYLO, R., SCHONLECHNER, R., és BERGER, M.V. (2021): Physico-chemical properties of an innovative gluten-free, low-carbohydrate and high protein-bread enriched with pea protein powder. *Scientific Reports*, 11, Article 14498.
- WOJTASIAK, Z.R., PACYNSKI, M., és MILDNER-SZKUDLARZ, S. (2015). Improving the aroma of gluten-free bread. *LWT- Food Science and Technology*, 63, 706-713. p.
- WOLTER, A., HAGER, A.S., ZANNINI, E., és ARENDT, E.K. (2014). Influence of sourdough on in vitro starch digestibility and predicted glycemic indices of gluten-free breads. *Food and Function*, 5(3), 564–572. p.
- WRONKOWSKA, M., TROSZYNSKA, A., SORAL-SMIETANA, M., és WOLEJSZO, A. (2008). Effects of buckwheat flour on the quality of gluten-free bread. *Polish Journal of Food Nutrition and Sciences*, 58(2), 211-216. p.
- XU, X., YUAN, H., LI, S. és MONNEVEUX, P. (2007), Relationship between Carbon Isotope Discrimination and Grain Yield in Spring Wheat under Different Water Regimes and under Saline Conditions in the Ningxia Province (North-west China). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 193, 422-434. p.

- ZANNINI, E., JONES, J., RENZETTI, S., ARENDT, E., DOYLE, M., és KLAENHAMMER, T. (2012). Functional replacements for gluten. *Annual Review of Food Science and Technology*, 3, 227-245. p.
- ZHAW, (2018). What makes bread taste good?. <https://www.zhaw.ch/en/about-us/news/news-releases/news-detail/event-news/what-makes-bread-taste-good/> Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: Gluten-free market growth. Lekérdezés: 2019.08.15.
- ZIMMA, A., CHIJETA, D., WROBLEWSKI, H., ZYGMUNT, E., és MAZIARZ, B. (2020). Trend or disease? – gluten-free diet. *Journal of Education, Health and Sport*, 10, 169-173. p.
- ZIOBRO, R., KORUS, J., WITCZAK, M., és JUSZCZAK, L. (2012). Influence of modified starches on properties of gluten-free dough and bread. Part II: quality and staling of gluten-free bread. *Food Hydrocolloids*, 29, 68-74. p.
- ZIOBRO, R., WITCZAK, T., JUSZCZAK, L., és KORUS, J. (2013). Supplementation of gluten-free bread with non-gluten proteins. Effect on dough rheological properties and bread characteristic. *Food Hydrocolloids*, 32, 213-220. p.
- ZIOBRO, R., JUSZCZAK, L., WITCZAK, M., és KORUS, J. (2016). Non-gluten proteins as structure forming agents in gluten free bread. *Journal of Food Science and Technology*, 53, 571-580. p.

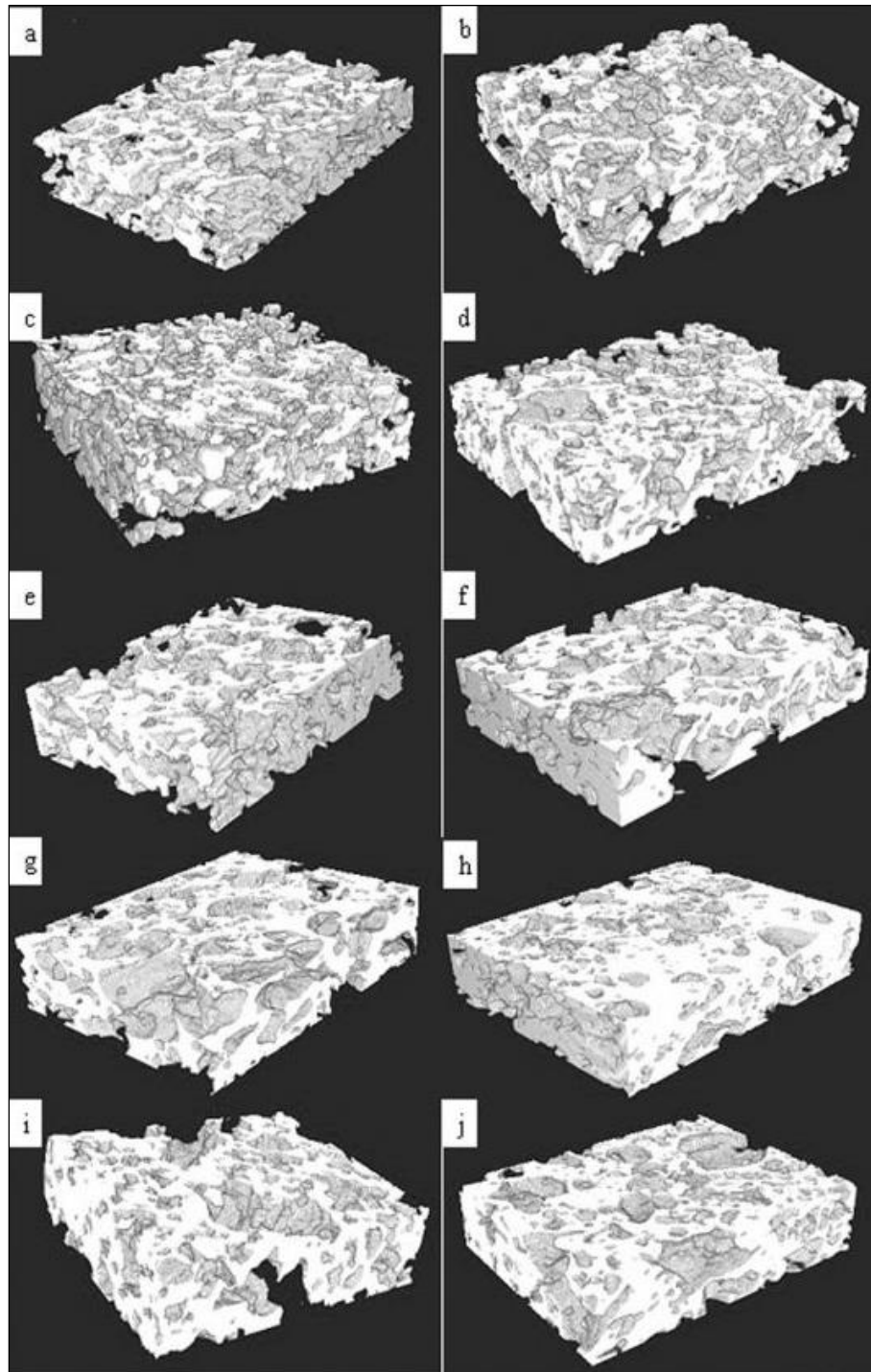
M2: Keményítőszerkezetek SEM képei I: (a) rizs, (b) búza, (c) burgonya, (d) kukorica
esetén (SINGH et al., 2003)



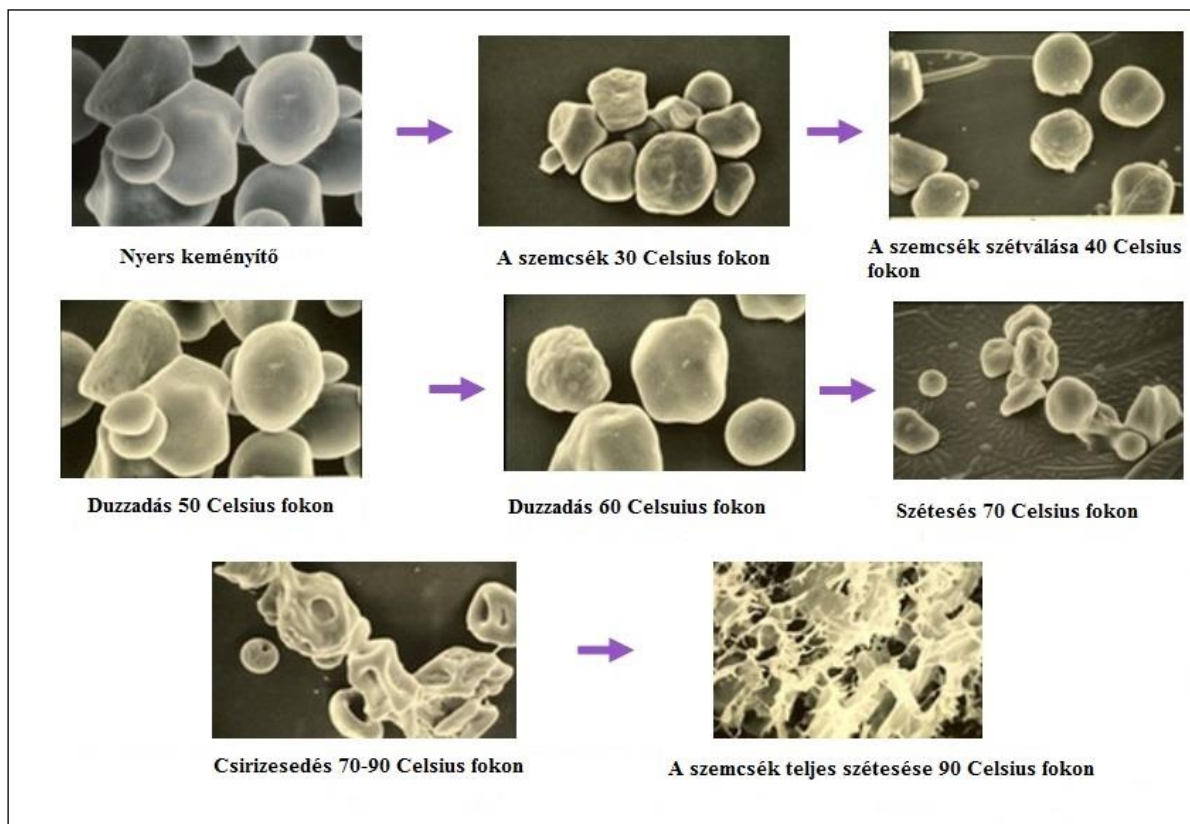
M3: Keményítőszerkezetek SEM képei II: (a) hajdina, (b) quinoa, (c) teff, (d) cirok, (e) kukorica, (f) zab, (g) teljes kiőrlésű búza, (h) búza esetén (HAGER et al., 2012b)



M4: Gluténmentes kenyérminták 3D röntgensugaras μ CT képei különböző hidrokolloidokkal és azok keverékeivel (DEMIKRESEN et al., 2014) (a) kontrol kenyér; (b) kenyér metilcellulózzal (c) kenyér agarral; (d) kenyér szentjánoskenyér-magliszttel; (e) kenyér guarral; (f) kenyér xantánnal; (g) kenyér karboxi-metilcellulózzal; (h) kenyér HPMC-vel; (i) kenyér xantán-szentjánoskenyér-magliszt keverékkel; (j) kenyér xantán-guar keverékkel



M5. Keményítőszemcsék változásai hő hatására (HUBBARD, 2014 alapján)



M6: Primer kutatás során használt kérdőív

- 1., Kitöltő neme: 1: nő 2: férfi
- 2., Kitöltő kora: 1: <18 év 2: 18-25 éves 3: 26-35 éves 4: 36-45 éves 5: >46 év
- 3., Miért fogyaszt gluténmentes terméket?
- 1: Igazolt Coeliakia 2: NCGS miatt 3: Saját elhatározásból 4: egyéb indok
- 4., Mióta diétázik? 1: <0.5 éve 2: 0.5-1 év 3: 1-2 éve 4: 2-5 éve 5: >5 éve
- 5., Van-e egyéb élelmiszer fogyasztáshoz kötődő allergiája vagy intoleranciája, egyéb emésztési zavara?
- 1: Nincs 2: Laktóz intolerancia 3: Tejfehérje allergia 4: Tojás allergia
5: Szója allergia 6: Diabétesz 7: IBS 8: Crohn betegség 9: egyéb
- 6., Általában hány fajta (különböző) gluténmentes lisztet tart otthon egyidejűleg?
- 1: Egyet sem 2: 1 db 3: 2-3 db 4: 4-5 db 5: > 5 db
- 7., Milyen gyakran süt otthon gluténmentes kenyeret?
- 1: Naponta 2: Hetente 2-3 alkalommal 3: Hetente 4: Kéthetente 5: Ritkábban 6: Soha
- 8., Milyen gyakran vásárol csomagolt, szeletelt gluténmentes kenyeret?
- 1: 1-2 naponta 2: Hetente kétszer 3: Hetente 4: Kéthetente 5: Ritkábban 6: Soha
- 9., Ön szerint van-e érezhető különbség a hagyományos és a gluténmentes kenyerek között?
- 1: Igen, nagyon sok 2: Van, de nem sok 3: Nincs különbség
- 10., Összességében mennyire elégedett a gluténmentes kenyerekkel? 1. pont: Abszolút elégedetlen vagyok; 10 pont: rendkívül elégedett vagyok
- 11., Mennyire igazodik ki könnyen a gluténmentes lisztek felhasználását illetően? Mennyi időt kell azok megismerésére fordítania?
- 1: Könnyen kiismerem magam 2: 1-2 kísérlet után kiismerem magam 3: Számos kísérlet után kiismerem magam 4: Nem ismerem ki magam
- 12., Milyen könnyen cseréli le a megszokott gluténmentes receptjeit?
- 1: Gyakran változtatok receptet 2: Néha változtatok receptet 3: Soha nem változtatok receptet
- 13., Ön szerint mit jelentenek problémát a gluténmentes kenyereknél és liszteknel a búzalisztes termékekhez képest?
- 1: Magas ár 2: Eltérő felhasználhatóság (liszteknel) 3: Túl szűk választék 4: Eltarthatóság
5: Megbízhatóság 6: Elérhetőség 7: Rosszabb minőség 8: Nincs különbség a termékek között

14., Ön szerint melyik a leginkább zavaró különbség? 1 – Leginkább zavaró 7 – legkevésbé zavaró
Magas ár; Eltérő felhasználhatóság; Túl szűk választék; Eltarthatóság; Megbízhatóság;
Elérhetőség; Rosszabb minőség;

M7. Validációhoz használt receptek összetétele

	Fehérkenyér liszt	Barnakenyér liszt	Xantán	HPMC
1	97	0	1	2
2	96.2	0	2.4	1.4
3	97.6	0	1.4	1
4	96.7	0	0.8	2.5
5	95.6	0	1.4	3
6	99.3	0	0.2	0.5
7	0	97	1	2
8	0	96.6	2.2	1.2
9	0	97.8	1.2	1
10	0	96.6	0.8	2.6
11	0	97	3	0
12	0	96	2.3	1.7

M8. ANOVA analízis eredményei a TPA mérés eredményeire (WLB – búzalisztes barnakenyér; WLW – búzalisztes fehérkenyér; CW- búzalisztes parasztkenyér; GFLB – gluténmentes barnakenyér; GFLW – gluténmentes fehérkenyér; GFCW – gluténmentes parasztkenyér; „+”: szignifikáns eltérés; „-”: nincs szignifikáns eltérés; $p < 0.05$)

1. Nap																				
Kemény-ség	WLB	WLW	CW	GFLB	GFLW	GFCW	Kohézió	WLB	WLW	CW	GFLB	GFLW	GFCW	Rugal-masság	WLB	WLW	CW	GFLB	GFLW	GFCW
WLB							WLB							WLB						
WLW	-						WLW	-						WLW	+					
CW	+	+					CW	+	+					CW	+	-				
GFLB	+	+	-				GFLB	-	-	-				GFLB	+	-	-			
GFLW	+	+	-	-			GFLW	+	+	-	-			GFLW	+	-	-	+		
GFCW	+	+	+	+	+		GFCW	+	+	-	+	-		GFCW	-	-	+	+	+	
2. Nap																				
Kemény-ség	WLB	WLW	CW	GFLB	GFLW	GFCW	Kohézió	WLB	WLW	CW	GFLB	GFLW	GFCW	Rugal-masság	WLB	WLW	CW	GFLB	GFLW	GFCW
WLB							WLB							WLB						
WLW	-						WLW	-						WLW	+					
CW	+	+					CW	-	-					CW	+	-				
GFLB	+	+	-				GFLB	-	-	-				GFLB	+	-	-			
GFLW	+	+	-	-			GFLW	-	-	-	-			GFLW	+	+	-	+		
GFCW	+	+	-	-	-		GFCW	-	+	-	-	-		GFCW	+	+	+	+	+	
3. Nap																				
Kemény-ség	WLB	WLW	CW	GFLB	GFLW	GFCW	Kohézió	WLB	WLW	CW	GFLB	GFLW	GFCW	Rugal-masság	WLB	WLW	CW	GFLB	GFLW	GFCW
WLB							WLB							WLB						
WLW	-						WLW	-						WLW	+					
CW	+	+					CW	-	+					CW	+	-				
GFLB	+	+	+				GFLB	-	-	-				GFLB	+	-	-			
GFLW	+	+	+	-			GFLW	-	-	-	-			GFLW	+	+	-	+		
GFCW	+	+	-	-	-		GFCW	-	-	-	-	-		GFCW	+	-	-	-	-	
4. Nap																				
Kemény-ség	WLB	WLW	CW	GFLB	GFLW	GFCW	Kohézió	WLB	WLW	CW	GFLB	GFLW	GFCW	Rugal-masság	WLB	WLW	CW	GFLB	GFLW	GFCW
WLB							WLB							WLB						
WLW	-						WLW	+						WLW	+					
CW	+	+					CW	-	+					CW	+	-				
GFLB	+	+	+				GFLB	-	-	-				GFLB	+	-	+			
GFLW	+	+	-	-			GFLW	-	+	-	-			GFLW	+	+	+	-		
GFCW	+	+	+	-	-		GFCW	-	-	+	-	-		GFCW	+	-	-	-	-	

M9. LDA eredmények a 4 napos tárolási kísérlet során a vizsgált kenyérmintákra (Group 1 – búzalisztes barnakenyér; Group 2 – búzalisztes fehérkenyér; Group 3 – búzalisztes parasztkenyér; Group 4 – gluténmentes barnakenyér; Group 5 – gluténmentes fehérkenyér; Group 6 – gluténmentes parasztkenyér)

Hardness-Cohesiveness-Springiness DAY 1							
Original							
original groups	1	2	3	4	5	6	total
1	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3	0.00	0.00	57.14	28.57	14.29	0.00	57.10
4	0.00	0.00	14.29	71.43	14.29	0.00	71.40
5	0.00	0.00	14.29	0.00	85.71	0.00	85.70
6	0.00	0.00	14.29	14.29	0.00	71.43	71.40
total	100.00	100.00	100.00	114.29	114.29	71.43	80.93
Cross-validated							
original groups	1	2	3	4	5	6	total
1	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3	0.00	0.00	42.86	28.57	28.57	0.00	42.90
4	0.00	0.00	14.29	71.43	14.29	0.00	71.40
5	0.00	0.00	14.29	0.00	85.71	0.00	85.70
6	0.00	0.00	14.29	14.29	0.00	71.43	71.40
total	100.00	100.00	85.71	114.29	128.57	71.43	78.57

Hardness-Cohesiveness-Springiness DAY 2							
Original							
original groups	1	2	3	4	5	6	total
1	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3	0.00	0.00	57.14	14.29	14.29	14.29	57.14
4	0.00	0.00	14.29	71.43	14.29	0.00	71.43
5	0.00	0.00	14.29	0.00	85.71	0.00	85.71
6	0.00	0.00	0.00	28.57	14.29	57.14	57.14
total	100.00	100.00	85.71	114.29	128.57	71.43	78.57
Cross-validated							
original groups	1	2	3	4	5	6	total
1	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3	0.00	0.00	14.29	14.29	57.14	14.29	14.29
4	0.00	0.00	14.29	71.43	14.29	0.00	71.43
5	0.00	0.00	14.29	0.00	85.71	0.00	85.71
6	14.29	0.00	0.00	28.57	14.29	42.86	42.86
total	114.29	100.00	42.86	114.29	171.43	57.14	69.05

Hardness-Cohesiveness-Springiness DAY 3							
Original							
original groups	1	2	3	4	5	6	total
1	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3	0.00	0.00	85.71	0.00	14.29	0.00	85.71
4	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
6	0.00	0.00	0.00	28.57	14.29	57.14	57.14
total	100.00	100.00	85.71	128.57	128.57	57.14	90.48
Cross-validated							
original groups	1	2	3	4	5	6	total
1	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3	0.00	0.00	71.43	14.29	14.29	0.00	71.43
4	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
6	0.00	0.00	0.00	28.57	14.29	57.14	57.14
total	100.00	100.00	71.43	142.86	128.57	57.14	88.10

Hardness-Cohesiveness-Springiness DAY 4							
Original							
original groups	1	2	3	4	5	6	total
1	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3	0.00	0.00	85.71	14.29	0.00	0.00	85.71
4	0.00	0.00	0.00	57.14	28.57	14.29	57.14
5	0.00	0.00	0.00	28.57	71.43	0.00	71.43
6	0.00	0.00	0.00	14.29	0.00	85.71	85.71
total	100.00	100.00	85.71	114.29	100.00	100.00	83.33
Cross-validated							
original groups	1	2	3	4	5	6	total
1	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2	0.00	85.71	0.00	0.00	0.00	14.29	85.71
3	0.00	0.00	85.71	14.29	0.00	0.00	85.71
4	0.00	0.00	0.00	57.14	28.57	14.29	57.14
5	0.00	0.00	14.29	28.57	57.14	0.00	57.14
6	0.00	0.00	28.57	28.57	0.00	42.86	42.86
total	100.00	85.71	128.57	128.57	85.71	71.43	71.43

M10. Érzékszervi minősítés ANOVA eredménye kenyértípusonként és bírálói csoportonként (Minta: WGW – búzalisztes barnakenyér; WLW – búzalisztes fehérkenyér; CW- búzalisztes parasztkenyér; WGGF – gluténmentes barnakenyér; WLGF – gluténmentes fehérkenyér; CGF – gluténmentes parasztkenyér; Csoport: 1 – Lisztérzékeny; 2 – Nem diétázó; 3 – Képzett bíráló; „+”: szignifikáns eltérés; „-”: nincs szignifikáns eltérés; $p < 0.05$)

a) Illat

Minta	Csoport	WGW2	WGW3	WLW2	WLW3	CW2	CW3	WGGF1	WGGF2	WGGF3	WLGF1	WLGF2	WLGF3	CGF1	CGF2	CGF3
WGW	2															
WGW	3	-														
WLW	2	+	+													
WLW	3	+	+	+												
CW	2	+	+	+	+											
CW	3	+	+	+	+	-										
WGGF	1	+	+	+	+	-	-									
WGGF	2	+	+	+	+	-	-	+								
WGGF	3	+	+	+	+	-	-	-	-							
WLGF	1	+	+	+	+	+	-	-	+	-						
WLGF	2	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-					
WLGF	3	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-				
CGF	1	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-	+	+			
CGF	2	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+		
CGF	3	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

b) Íz

Minta	Csoport	WGW2	WGW3	WLW2	WLW3	CW2	CW3	WGGF1	WGGF2	WGGF3	WLGF1	WLGF2	WLGF3	CGF1	CGF2	CGF3
WGW	2															
WGW	3	-														
WLW	2	+	+													
WLW	3	-	-	-												
CW	2	+	+	-	+											
CW	3	+	+	-	-	-										
WGGF	1	+	+	+	+	+	+									
WGGF	2	+	-	-	-	+	+	+								
WGGF	3	-	-	-	-	-	-	-	-							
WLGF	1	+	+	+	+	+	+	-	+	+						
WLGF	2	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+					
WLGF	3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				
CGF	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
CGF	2	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+		
CGF	3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	

c) Puhaság kézzel tapintva

Minta	Csoport	WGW2	WGW3	WLW2	WLW3	CW2	CW3	WGGF1	WGGF2	WGGF3	WLGF1	WLGF2	WLGF3	CGF1	CGF2	CGF3
WGW	2															
WGW	3	-														
WLW	2	-	-													
WLW	3	-	-	-												
CW	2	+	+	+	+											
CW	3	+	+	+	+	-										
WGGF	1	+	+	+	+	+	+									
WGGF	2	+	+	+	+	-	-	+								
WGGF	3	+	+	+	+	-	+	-	-							
WLGF	1	+	+	+	+	+	+	-	+	+						
WLGF	2	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+					
WLGF	3	+	+	+	+	-	-	+	-	-	+	+				
CGF	1	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+			
CGF	2	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+	-	-	+		
CGF	3	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	

d) Porozitás

Minta	Csoport	WGW2	WGW3	WLW2	WLW3	CW2	CW3	WGGF1	WGGF2	WGGF3	WLGf1	WLGf2	WLGf3	CGF1	CGF2	CGF3
WGW	2															
WGW	3	-														
WLW	2	+	+													
WLW	3	-	-	+												
CW	2	-	-	+	-											
CW	3	-	-	+	+	-										
WGGF	1	+	+	+	+	+	+									
WGGF	2	-	-	+	-	-	-	+								
WGGF	3	+	+	+	+	+	-	+	+							
WLGf	1	+	+	+	+	+	+	-	+	+						
WLGf	2	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+					
WLGf	3	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-				
CGF	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
CGF	2	-	-	+	-	-	-	+	-	-	+	+	-	+		
CGF	3	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	+	+	-	

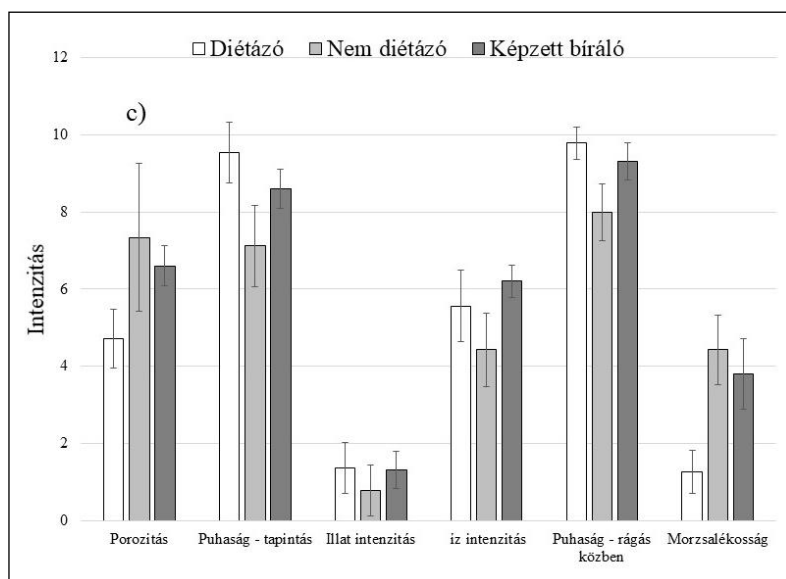
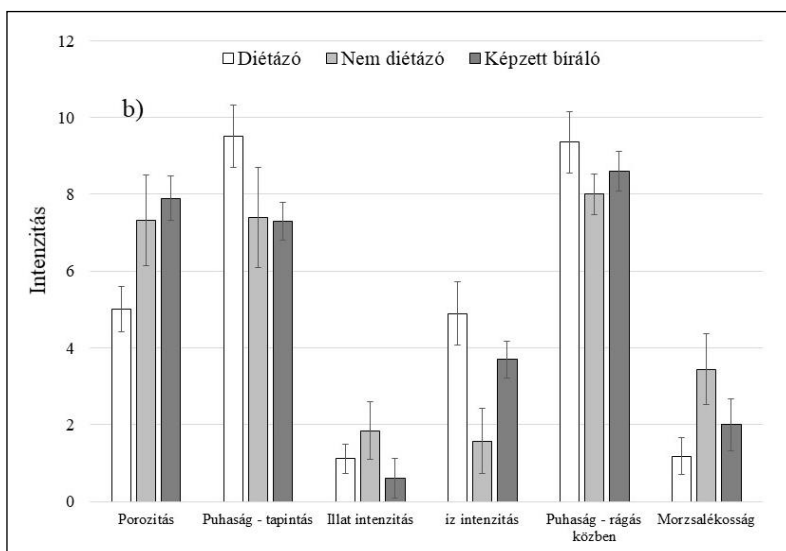
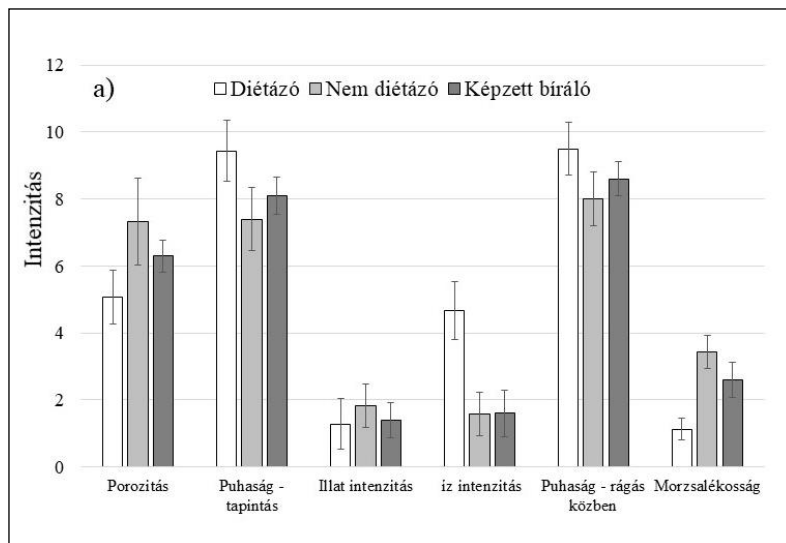
e) Puhaság rágás közben

Minta	Csoport	WGW2	WGW3	WLW2	WLW3	CW2	CW3	WGGF1	WGGF2	WGGF3	WLGf1	WLGf2	WLGf3	CGF1	CGF2	CGF3
WGW	2															
WGW	3	-														
WLW	2	-	-													
WLW	3	-	-	-												
CW	2	+	+	+	+											
CW	3	+	+	+	+	-										
WGGF	1	+	+	+	+	+	+									
WGGF	2	+	+	+	+	-	-	+								
WGGF	3	+	+	+	+	-	+	+	-							
WLGf	1	+	+	+	+	+	+	-	+	+						
WLGf	2	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+					
WLGf	3	+	+	+	+	-	-	+	-	-	+	-				
CGF	1	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+			
CGF	2	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+	-	-	+		
CGF	3	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	

f) Morzsalékosság rágás közben

Minta	Csoport	WGW2	WGW3	WLW2	WLW3	CW2	CW3	WGGF1	WGGF2	WGGF3	WLGf1	WLGf2	WLGf3	CGF1	CGF2	CGF3
WGW	2															
WGW	3	-														
WLW	2	+	+													
WLW	3	+	+	-												
CW	2	+	+	+	-											
CW	3	-	+	+	+	-										
WGGF	1	+	+	+	+	+	+									
WGGF	2	-	+	+	+	+	-	+								
WGGF	3	-	-	+	+	+	+	+	+							
WLGf	1	+	+	+	+	+	+	-	+	+						
WLGf	2	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-					
WLGf	3	+	-	+	+	+	+	-	+	-	-	+				
CGF	1	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-			
CGF	2	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+		
CGF	3	-	-	+	-	-	-	+	-	-	+	-	+	+	-	

M11. A gluténmentes minták érzékszervi minősítésre kapott átlag pontszámai bírálói csoportonként (a: barna formakenyér, b: fehér formakenyér, c: parasztkenyér)



M12. Érzékszervi minősítés LDA elemzés eredménye nem diétázó és képzett bírálók csoportján, minden kenyérminta (n=6) és a legfontosabb tulajdonságok (n=6) alapján (a: nem diétázók csoportja; b: képzett bírálók; PB: búzalisztes parasztkenyér; PGM: gluténmentes parasztkenyér; FB: búzalisztes fehérkenyér; FGM: gluténmentes fehérkenyér; BB: búzalisztes barnakenyér; BGM: gluténmentes barnakenyér)

a)

Porozitás + puhaság + illat + íz + textúra (puhaság) + textúra (morzsalékosság)							
Original							
original groups	BB	FB	PB	BGM	FGM	PGM	total
BB	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
FB	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
PB	0.00	0.00	58.00	20.00	22.00	0.00	58.00
BGM	2.00	0.00	16.00	82.00	0.00	0.00	82.00
FGM	0.00	0.00	16.00	4.00	74.00	6.00	74.00
PGM	0.00	0.00	4.00	0.00	6.00	90.00	90.00
total	102.00	100.00	94.00	106.00	102.00	96.00	84.00
Cross-validated							
original groups	WGW	WLW	CW	WGGF	WLGF	CGF	total
BB	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
FB	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
PB	0.00	0.00	50.00	28.00	22.00	0.00	50.00
BGM	2.00	0.00	18.00	80.00	0.00	0.00	80.00
FGM	0.00	0.00	16.00	4.00	74.00	6.00	74.00
PGM	0.00	0.00	4.00	0.00	6.00	90.00	90.00
total	102.00	100.00	88.00	112.00	102.00	96.00	82.33

b)

Porozitás + puhaság + illat + íz + textúra (puhaság) + textúra (morzsalékosság)							
Original							
original groups	WGW	WLW	CW	WGGF	WLGF	CGF	total
BB	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
FB	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
PB	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00
BGM	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00
FGM	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
PGM	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cross-validated							
original groups	WGW	WLW	CW	WGGF	WLGF	CGF	total
BB	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
FB	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
PB	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00
BGM	0.00	0.00	10.00	90.00	0.00	0.00	90.00
FGM	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
PGM	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
total	100.00	100.00	110.00	90.00	100.00	100.00	98.33

M13. Ábrák és táblázatok jegyzéke

1. ábra: A búzaszem felépítése (TAMÁS, 2010).....	4
2. ábra: A gliadinok ismétlődő szekvencia szakaszai (téglalapokkal jelölve), illetve a cisztein aminosavak elhelyezkedése (ABONYI, 2010)	5
3. ábra: Sikérszerkezet pásztázó elektronmikroszkóp (SEM) felvétele. Jelölések: P- sikérfehérje szerkezet, S ^A és S ^B - különböző méretű keményítőszemcsék. Jelölt szakasz hossza: 5 µm (MILLS et al., 2005)	6
4. ábra: Gabonafehérje fogyasztáshoz köthető kóros reakciók (Forrás: saját szerkesztés). GRD: Gluten related disorders, gluténfogyasztással kapcsolatos rendellenesség.....	7
5. ábra: A Coeliakia mechanizmusa (CABANILLAS, 2019).....	8
6. ábra: Gluténmentes termékekkel és alapanyagokkal kapcsolatos tudományos cikkek száma 2000 és 2021 között (Forrás: saját szerkesztés Scopus adatok alapján, Agricultural and Biological Sciences, Biochemistry, Chemistry, Engineering és Chemical Engineering területekre szűkítve)	13
7. ábra: Gluténmentes kenyerek fejlesztési irányai (CAPRILES és AREAS, 2014).....	14
8. ábra: 228 gluténmentes kenyér összetétel vizsgálata hidrokolloid tartalom alapján, illetve a hidrokolloid összetevő listán való elhelyezkedése alapján (ROMAN et al., 2019 alapján; CMC = karboxi-metil-cellulóz)	18
9. ábra: Hidrokolloidok hatása rizsliszt és kukoricakeményítő alapú rendszerben, 2%-os adagolás mellett. (LAZARIDOU et al., 2007).....	20
10. ábra: Rizsliszt alapú gluténmentes kenyértészták farinográfus vizsgálata különböző hidrokolloidok adagolásával (SAHIN et al., 2020)	21
11. ábra: SEM felvétel hidrokolloidok 2%-os adagolásánál burgonyakeményítő alapú rendszerben. (a) guar gumi; (b) HPMC; (c) szentjánoskenyér-magliszt; (d) pektin; (e) nátrium-alginát; (f) xantán (HORSTMANN et al., 2018).....	22
12. ábra: Gluténmentes kenyerek bélzete amarant, quinoa, hajdina és gluténmentes kontroll minta esetén (ALVAREZ-JUBETE et al., 2009a)	23
13. ábra: A farinogram értelmezése (SZALAI, 2006)	26
14. ábra: A minőségi osztályok jellemzése (Forrás: NÁDOSI, 2005).....	26
15. ábra: A kenyérbélzet felépítése (MERETEI, 2012, LIU és SCANLON, 2003 nyomán)	28
16. ábra: A kenyérbélzet tipikus nyitott hab szerkezete (SEM felvétel, KIM et al., 2003)	29

17. ábra: Különböző kenyerek bélzetéről készült felvételek konfokális lézer pásztázó mikroszkóppal. (A) Búzalisztes kenyér, (B) Gluténmentes lisztkeverékből készült kenyér, (C) Tejmentes gluténmentes kenyér, (D) Tejes gluténmentes kenyér (ARENDR et al., 2008b)	29
18. ábra: (A) Hagyományos búzalisztból készült kenyér (BARAVALLE et al., 2015), (B) Rizsliszt alapú gluténmentes kenyér (STORCK et al., 2013)	30
19. ábra: Gélesedett keményítő szerkezet és a benne megkötött víz (HUBBARD, 2014)	30
20. ábra: TPA görbe és annak szakaszai (BOURNE, 2002)	32
21. ábra: Német kenyérfogyasztási adatok (Német Pékszövetség, 2020)	36
22. ábra: Szemcseméret (a) és eloszlás (b) ábrázolás Laser Particle Sizer program segítségével	45
23. ábra: Hiperspektrális képalkotó rendszer (NGADI et al., 2014)	49
24. ábra: Headwall Photonics hiperspektrális képfeldolgozó rendszer (Forrás: Headwall Photonics)	50
25. ábra: Az Argus program kezelőfelülete (PARRAG, 2020)	51
26. ábra: Barnakenyér minta hiperspektrális képének szegmentálása CuBrowser-rel	52
27. ábra: Kenyér aromakerék (Forrás: ZHAW, 2018)	56
28. ábra: RSV adatok 2004 és 2020 közötti időszak alapján az alábbi kifejezésekre: GFD- gluténmentes diéta; CD- Coeliakia; WA- Búzaallergia; GRD- Gluténfogyasztáshoz kapcsolódó emésztési zavarok; NCGS- Nem-Coeliakiás Glutén Szenzitivitás (KAMINSKI et al., 2020b) ...	59
29. ábra: RSV adatok ábrázolása országonkénti megoszlás szerint (KAMINSKI et al., 2020a) ..	60
30. ábra: Fogyasztói válaszok megoszlása arra a kérdésre, hogy „van-e a gluténfogyasztás mellett egyéb élelmiszer intoleranciája, allergiája vagy egyéb betegsége”	67
31. ábra: Termékvásárlási és/vagy otthon sütési válaszok megoszlása (n = 500 fő)	68
32. ábra: A válaszok százalékos megoszlása arra vonatkozóan, hogy éreznek-e különbséget a gluténmentes és a hagyományos kenyerek között	70
33. ábra: Egyidejűleg otthon tartott lisztek száma	71
34. ábra: A gluténmentes kenyerekkel és lisztekkel kapcsolatos problémák százalékos megoszlása	72
35. ábra: C _{BL} farinográfos görbéje	73
36. ábra: C _{RL} farinográfos görbéje	73
37. ábra: Az 1. csoportba tartozó minták farinográfos görbéi	74
38. ábra: A 2. csoportba tartozó minták farinográfos görbéi	75
39. ábra: A 3. csoportba tartozó minták farinográfos görbéi	76
40. ábra: Sütési próba eredményei a kereskedelmi forgalomban kapható és a kontroll lisztből készült minták esetén	77

41. ábra: Hidrokolloidok kombinációinak hatása a DT-re (a: barnakenyér liszt; b: fehérkenyér liszt)	81
42. ábra: A hidrokolloidok kombinációinak hatása a stabilitásra (a: barnakenyér liszt; b: fehérkenyér liszt)	82
43. ábra: Az alapanyagok kombinációinak hatása az ellágyulásra (a: barnakenyér liszt; b: fehérkenyér liszt)	84
44. ábra: Az alapanyagok kombinációinak hatása a vízfelvételre (a: barnakenyér liszt; b: fehérkenyér liszt)	86
45. ábra: Az eredmények segítségével programozott predikciós Excel makró	87
46. ábra: Validációs mérés eredményei (a: tészta kialakulási idő; b: stabilitás; c: ellágyulás; d: vízfelvétel)	88
47. ábra: A predikciós modell segítségével kapott lisztkeverékek farinográfus görbéi (1.a: barnakenyér liszt hidrokolloid nélkül; 1.b: barnakenyér liszt hidrokolloiddal; 2.a: fehérkenyér liszt hidrokolloid nélkül; 2.b: fehérkenyér liszt hidrokolloiddal)	88
48. ábra: TPA próbamérés eredménye	90
49. ábra: A tárolási kísérlet során kapott TPA mérési eredmények (PB: búzalisztes parasztkenyér; PGM: gluténmentes parasztkenyér; FB: búzalisztes fehérkenyér; FGM: gluténmentes fehérkenyér; BB: búzalisztes barnakenyér; BGM: gluténmentes barnakenyér)	90
50. ábra: A vizsgált kenyérminták TPA eredményei alapján készített LDA elemzés eredményei az 1. (bal oldalon) és a 4. napon (jobb oldalon) (PB: búzalisztes parasztkenyér; PGM: gluténmentes parasztkenyér; FB: búzalisztes fehérkenyér; FGM: gluténmentes fehérkenyér; BB: búzalisztes barnakenyér; BGM: gluténmentes barnakenyér)	92
51. ábra: Porozitás értékek a tárolási kísérlet során (a: porozitás; b: átlagos próusméret; c: pórusok száma; PB: búzalisztes parasztkenyér; PGM: gluténmentes parasztkenyér; FB: búzalisztes fehérkenyér; FGM: gluténmentes fehérkenyér; BB: búzalisztes barnakenyér; BGM: gluténmentes barnakenyér)	93
52. ábra: Kenyérminta spektrumok PCA eredményei kiugró érték kezelés, simítás és sgol-2-13-2 előkezelés után (N = 8390). a) Kenyértípusok szerinti score plot; b) Tárolási idő szerinti score plot	94
53. ábra: Kenyértípus szerinti LDA eredmények kiugró érték kezelés, simítás és sgol-2-13-1 előkezelés után (N = 8390, NrPC = 30)	95
54. ábra: A vizsgált kenyérminták tárolási időtartam szerinti LDA eredmények kiugró érték kezelés, simítás és sgol-2-13-1 előkezelés után (N = 8390, NrPC = 30)	97

55. ábra: Kenyerek tárolási nap szerinti osztályozása a) Barna kenyér (N=1403, NrPC=30); b) Gluténmentes barnakenyér (N=1417, NrPC=25); c) Fehér kenyér (N=1457, NrPC=29); d) Gluténmentes fehérkenyér (N=1369, NrPC=30); e) Paraszt kenyér (N=1399, NrPC=30); f) Gluténmentes parasztkenyér (N=1345, NrPC=29)	100
56. ábra: Kenyerek tárolása során bekövetkező száradás kimutatása az egyes ROI pontokon 1454 nm-en nedvesség indexszel: a) Barnakenyér; b) Gluténmentes barnakenyér; c) Fehérkenyér; d) Gluténmentes fehérkenyér; e) Parasztkenyér; f) Gluténmentes parasztkenyér.....	103
57. ábra: LDA elemzés eredménye mindhárom bíráló csoportnál (n=110 fő) az összes vizsgált tulajdonságra vonatkozóan (n=17) gluténmentes minták esetén.....	107
58. ábra: LDA elemzés eredménye a gluténmentes és búzaliszt alapú kenyérminták hat legfontosabb érzékszervi tulajdonságai alapján (a: nem diétázók csoportja; b: képzett bírálók; PB: búzalisztes parasztkenyér; PGM: gluténmentes parasztkenyér; FB: búzalisztes fehérkenyér; FGM: gluténmentes fehérkenyér; BB: búzalisztes barnakenyér; BGM: gluténmentes barnakenyér) ...	109
59. ábra: Búzalisztes és gluténmentes kenyérminták érzékszervi pontszámai (Színes oszlopok: nem diétázók csoportja; Csíkos oszlopok: képzett bírálók csoportja; PB: búzalisztes parasztkenyér; PGM: gluténmentes parasztkenyér; FB: búzalisztes fehérkenyér; FGM: gluténmentes fehérkenyér; BB: búzalisztes barnakenyér; BGM: gluténmentes barnakenyér).....	109
60. ábra: Különböző alapanyagok megtermelési költsége Magyarországon, hajdina esetében közép-európai átlag (Forrás: FAOSTAT)	111
61. ábra: Euró-Forint árfolyam változásai az elmúlt 10 évben (Forrás: tőzsdeasz.hu)	111

1. táblázat: Vizsgált lisztek összetevői és tápérték adatai 100 g termékre vonatkoztatva (CH: szénhidrát)	40
2. táblázat: Standardizált recept.....	42
3. táblázat: A minták gyártói javaslata az elkészítésre	42
4. táblázat: A felhasznált alapanyagok és forrásuk	43
5. táblázat: A kenyérsütéshez felhasznált anyagok	46
6. táblázat: Alkalmazott spektrum előkezelési eljárások.....	52
7. táblázat: Felhasznált kenyérminták az aromakerék vizsgálatához	56
8. táblázat: Elégedettség a hazai gluténmentes kenyérválasztékkal és a kenyerek minőségével (CSAPÓNÉ és PÉNTEK, 2018)	63
9. táblázat: Kereskedelmi forgalomban kapható GM kenyerekkel és lisztekkel kapcsolatos publikációk	64

10. táblázat: A válaszadók kor és nem szerinti eloszlása, valamint a diéta követésének oka (CD – Coeliakia; NCGS – Nem coeliakiás glutén szenzitivitás).....	65
11. táblázat: Korcsoport megoszlása a gyakori otthon sütők között nemenként	68
12. táblázat: Korcsoport megoszlása a gyakori készterméket vásárlók között nemenként	69
13. táblázat: A válaszadók által jelölt problémák rangsorolásának megoszlása.....	72
14. táblázat: A fejlesztéshez felhasznált alapanyagok és búzalisztek átlagos szemcsemérete	78
15. táblázat: A kísérletterv alapján elvégzett farinográfus mérések eredményei azonos nedvességtartalmú nyerstészták esetén	79
16. táblázat: A kialakulási időre vonatkozó eredmények összegzése barnakenyér liszt esetén ...	80
17. táblázat: A tészta stabilitására vonatkozó eredmények összegzése barnakenyér liszt esetén.	81
18. táblázat: A tészta ellágyulására vonatkozó eredmények összegzése barnakenyér liszt esetén	83
19. táblázat: A tészta vízfelvételére vonatkozó eredmények összegzése barnakenyér liszt esetén	85
20. táblázat: A fejlesztett lisztkeverékek és a referencia búzaliszt farinográfus értékei.....	89
21. táblázat: Kenyértípus szerinti osztályozás kiugró érték kezelés, simítás és sgol-2-13-1 előkezelések után (N= 8390, NrPC = 30) (1: Barnakenyér; 2: Fehérkenyér; 3: GM barnakenyér; 4: GM fehérkenyér; 5: GM parasztkenyér; 6: Parasztkenyér)	96
22. táblázat: Kenyérminták osztályozása tárolási idő szerint kiugró érték kezelés, simítás és sgol-2-13-2 előkezelések után (N = 8390, NrPC = 30)	97
23. táblázat: Kenyérminták tárolási nap szerinti osztályozása (GM: gluténmentes)	98
24. táblázat: Barnakenyér minták osztályozása tárolási nap szerint kiugró érték kezelés, simítás és sgol-2-13-2 előkezelések után (N = 1403, NrPC = 30)	99
25. táblázat: Gluténmentes barnakenyér minták osztályozása tárolási nap szerint kiugró érték kezelés és simítás után (N=1417, NrPC = 25)	99
26. táblázat: Fehérkenyér minták osztályozása tárolási nap szerint kiugró érték kezelés, simítás és sgol-2-13-2 előkezelések után (N=1457, NrPC=29)	101
27. táblázat: Gluténmentes fehérkenyér minták osztályozása tárolási nap szerint kiugró érték kezelés és simítás után (N=1369)	101
28. táblázat: Parasztkenyér minták osztályozása tárolási nap szerint kiugró érték kezelés és simítás után (N=1399, NrPC=30).....	102
29. táblázat: Gluténmentes parasztkenyér minták osztályozása tárolási nap szerint kiugró érték kezelés, simítás és sgol-2-13-2 előkezelések után (N=1345)	102
30. táblázat: Kenyérszeletek különböző pontjain mért nedvességtartalmainak átlaga a tárolási napokon (PB: búzalisztes parasztkenyér; PGM: gluténmentes parasztkenyér; FB: búzalisztes	

fehérkenyér; FGM: gluténmentes fehérkenyér; BB: búzalisztes barnakenyér; BGM: gluténmentes barnakenyér; Mintavétel helye: 1: kenyér közepe; 2: közepe és a héj között félúton; 3: héj közelében)	104
31. táblázat: Kenyérminták nedvességtartalmának becslése PLSR-rel kiugró érték kezelés, spektrum előkezelés és keresztvalidáció után	105
32. táblázat: A nedvességtartalom becslésben releváns hullámhosszak (KOJIC et al., 2014, TSENKOVA, 2009)	105
33. táblázat: LDA osztályozás tévesztési mátrixa (helyesen osztályozott csoportok aránya 89,11%)	107
34. táblázat: Más európai országok ÁFA szintjével számolt hazai fogyasztói árak gluténmentes liszt és késztermék esetén.....	112

9. Köszönetnyilvánítás

A dolgozat nem készülhetett volna el témavezetőim, **Prof. Dr. Vatai Gyula** és **Dr. Koris András** tanár urak folyamatos ösztönzése, szakmai és emberi hozzáállása valamint segítsége nélkül.

Külön köszönetet szeretnék mondani **Dr. Kaszab Tímeának** és **Lambertné Dr. Meretei Anikónak** a mérésekben, ötletelésekben nyújtott segítségükért és a biztatásuk folyamatos jelenlétéért.

A hiperspektrális eredmények kiértékelésében nyújtott segítségét köszönöm **Vitális Flórának**.

A farinográfus mérések során nyújtott segítséget köszönöm **Dr. Mihály-Langó Bernadettnek**.

A dolgozat elkészítése a **Táplálékallergia Centrum** szakmai és materiális támogatása nélkül nem valósulhatott volna meg.

Leginkább pedig köszönöm a **Feleségemnek** és a **Családomnak**, akik leginkább tapasztalták a dolgozat elkészítése közbeni nehézségeket, akadályokat, de akik minden egyes pillanatban emberfeletti erővel támogattak és segítettek, még a legkritikusabb helyzetekben is.