



Élelmiszertudományi Kar

Doktori értekezés tézisei

**MÓDSZER KENYÉRBÉLZET ÁLLOMÁNYJELLEMZŐINEK
MEGHATÁROZÁSÁRA**

Készítette:

Lambertné Meretei Anikó

Konzulensek:

dr. Fekete András
egyetemi tanár

dr. Baranyai László
egyetemi docens

Budapesti Corvinus Egyetem
Élelmiszertudományi Kar
Fizika-Automatika Tanszék

Budapest, 2012

A doktori iskola

megnevezése: Élelmiszertudományi Doktori Iskola

tudományága: Élelmiszertudományok

vezetője: Fodor Péter, DSc
egyetemi tanár
Budapesti Corvinus Egyetem
Élelmiszertudományi Kar
Alkalmazott Kémia Tanszék

Témavezetők: Fekete András, DSc
egyetemi tanár

Baranyai László, PhD
egyetemi docens

Budapesti Corvinus Egyetem
Élelmiszertudományi Kar
Fizika-Automatika Tanszék

A doktori iskola- és a témavezető jóváhagyó aláírása:

A jelölt a Budapesti Corvinus 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 témavezetők jóváhagyása

1. BEVEZETÉS

A kenyér ősidők óta az emberek alapvető élelmiszere, nagy energiaértéke mellett ma már egyre jobban előtérbe kerül az egészséges táplálkozásban betöltött szerepe is.

A Magyar Élelmiszerkönyv a fogyasztók védelmében szigorú előírásokat tartalmaz, a kenyérral szemben támasztott követelményeket is meghatározott irányelvek alapján írja le. A fogyasztók elvárásai alapján az a bélzet tekinthető jó minőségűnek, amelynél a deformáló erő hatására bekövetkező alakváltozás nagy, tehát puha, és a teljes deformáción belül nagy a rugalmas alakváltozás részaránya, tehát rugalmas. A bélzet rugalmasságának meghatározására, a Magyar Szabvány az Elasztigráf alkalmazását követeli meg. Ezzel a berendezéssel határozták meg a bélzet reológiai tulajdonságát jellemző relatív rugalmasság minimális értékét is, amelyet a Magyar Élelmiszerkönyv legalább 0,8-nek ír elő. Ez azt jelenti, hogy a termék akkor felel meg a szabványban feltüntetetteknek, ha bélzete az összenyomást követően legalább 80 %-ban visszanyeri eredeti magasságát.

A gyártók körében egyre népszerűbb adalékanyagok használatával a mai kenyerek bélszerkezete ennek az elvárásnak általában már nem felel meg, jóval lágyabb, lyukacsosabb mint a régi kenyereké. A teljes deformáció értéke kívül esik az Elasztigráffal mérhető tartományon, a relatív rugalmasság meghatározása így bizonytalanná vált, ezért ez a műszer már nem alkalmas a ma forgalomban lévő kenyerek minősítésére.

Mint már említettem, a bélszerkezet nagy mértékben befolyásolja a vásárlók minőségről alkotott véleményét, a kenyér állományának vizsgálata tehát rendkívül fontos feladat. Ezért időszerű egyszerű és megbízható mérési módszer kidolgozása kenyérbélzet minőségi jellemzőinek meghatározására.

2. CÉLOK

Disszertációm készítése során a következő célokat tűztem ki:

- Új kompressziós mérési módszer kidolgozása az Elasztigráf mérési elve alapján, amely alkalmas a kenyérbélzet állományjellemzőinek meghatározására, különös tekintettel a mérőfej méretére és alakjára, a terhelőerőre és a terhelési időkre.
- Az új mérési módszerhez új minta-előkészítési eljárás kidolgozása, amellyel pontos és megbízható mérési eredmény nyerhető, valamint a mintaméret és alak (pl. bélzetkorong, vagy kenyérszelet) mérési eredményekre gyakorolt hatásának megállapítása.

- Az új módszerhez alkalmazott kompressziós sebesség hatásának megállapítása, összefüggések meghatározása a mérési sebesség és a mért jellemzők között.
- A kidolgozott új mérési módszer alkalmazhatóságának megállapítása különböző kenyértípusoknál.
- Az új módszer alkalmazhatóságának összehasonlítása más, a kenyér vizsgálatára elfogadott és alkalmazott módszerekkel.

3. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

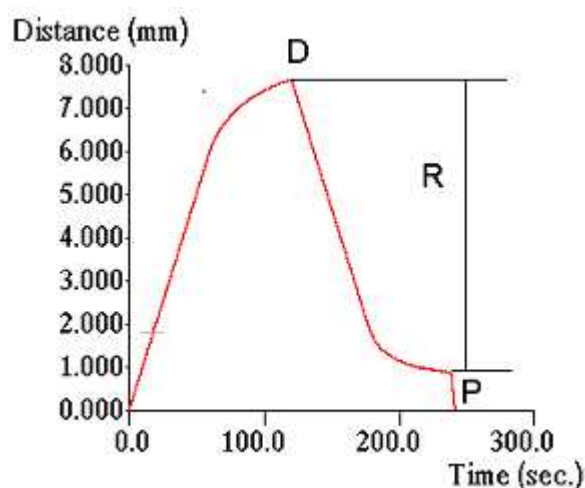
3.1. Elasztigráf elvű mérés megvalósítása állománymérővel

A Magyar Szabvány kenyerek minősítésére az Elasztigráf használatát írja elő. A berendezés az egész mérés alatt papírszalagra rögzíti a kapott eredményeket. Az így kapott elasztigramról leolvasható a teljes (D), a rugalmas (R) valamint a plasztikus (P) deformáció értéke is, melyek értékes információkat adnak a bélszerkezet viselkedéséről.

Az elasztigráfos mérést Stable Micro Systems TA.XT2 típusú sorozatgyártású állománymérő segítségével modelleztem. Relaxációs mérési módban P/75-ös mérőfejet használtam, ami egy 75 mm átmérőjű korong. Ez az Elasztigráf felső tárcsájának felel meg. A terhelés itt is 1875 g, amit az előírt 3 percre tartottam a mintán. Ezután a terhelést megszüntettem és 3 percre figyeltem a bélzethenger visszaalakulását. Relaxációs mérésnél a programban a terhelés mértéke és a vizsgálati idő megadható, a műszer ezek után a mérést automatikusan végzi, az Elasztigráftól eltérően itt sem a terhelés ráadásánál sem annak levételénél nincs szükség kézi beavatkozásra.

A deformáció idő görbét (1.ábra) a mérőprogram vette fel, a görbéről megállapítható a teljes deformáció, a rugalmas és a rugalmatlan alakváltozás mértéke milliméterben. A rugalmas és a teljes deformáció hányadosával az Elasztigráffal mérhető relatív rugalmasság értékének megfelelő mérőszámot kapunk.

Ehhez a mérési sorozathoz négy különböző kenyértípust (barna, rozsos, félbarna és fehér) használtunk fel, eltérő összetételük miatt eltérő bélzetszerkezetet feltételeztünk. Minden terméket friss állapotban, a sütés napján vizsgáltam, mind az elasztigráfos, mind a penetrométeres mérést elasztigráfos próbatesten (átmérő 56,5 mm, magasság 50 mm) végeztem, mindkét műszerrel termékenként 5-5 ismétléssel.



1. ábra: Deformáció-Idő jelleggörbe relaxációs mérési módban

3.2. Mérési módszer fejlesztése

A nemzetközi gyakorlatban mind az American Association of Cereal Chemists (AACC), mind az American Institute of Baking (AIB) elfogadott kenyérvizsgálati módszerében kenyérszeleteken határozza meg a bélzet reológiai tulajdonságait.

Méréseimet tehát a továbbiakban kenyérszeleten kívántam folytatni. A szeletek vastagsága 15 mm volt. Kenyérszeletek vizsgálatához azonban az elasztográf elvén működő módszer finomítása mindenképpen szükséges. Lényeges kérdés volt a megfelelő mérőfej, az alkalmazandó erő és mérési idő meghatározása.

3.2.1. Mérőfej kiválasztása

Könnyen belátható, hogy kenyérszelet méréséhez célszerű a kenyérszelet felületénél kisebb mérőfejet használni. Figyelembe kell vennünk azonban a kenyérbélzet inhomogenitását is. Különösen a fehér és a félbarna kenyerek bélzetére jellemző, hogy porozitásuk nem egyenletes, gyakran előfordulnak bennük nagyobb lyukak. Ez kis átmérőjű mérőfej alkalmazása esetén hibás mérést eredményezhet. Ha a mérőfejet a kenyérszelet felületét megközelítő méretűre választjuk, akkor a héj körüli régiók magasabb keménysége miatt kaphatunk téves eredményt.

A mérőfej kiválasztásához félbarna kenyeret használtam, mivel ennek bélzete a fehér kenyéréhez hasonlóan laza, viszont annál valamivel egyenletesebb. Kenyerenként (mérőfejenként) 15-15 szeletet vizsgáltam. A mérésekhez egyszerűen kivitelezhető, elfogadott módszert kívántam alkalmazni, ezért kísérleteimet az American Institute of Baking kenyérvizsgálati módszerére alapoztam. A vizsgált mérőfejek átmérője 10, 25, 35, 45 és 75 mm volt.

3.2.2.. Terhelőerő meghatározása

Mérési módszerem finomításának következő lépése a megfelelő terhelőerő értékének meghatározása. Az Elasztigráf esetén a maximális deformáció, amit a berendezés mérni tud, 60 %. Méréseim során arra kerestem választ, mekkora az a terhelőerő, ami a legpuhábbnak ítélt fehér kenyér esetén sem okoz nagyobb deformációt, mint a fent említett 60 %. A kísérletet fehér kenyéren végeztem, majd a választott erőérték alkalmazhatóságát félbarna, rozsos és barna kenyéren is teszteltem. Az ismétlések száma fehér és félbarna kenyérenél 15-15, a rozsos és barna kenyereknél 12-12 volt a termékek eltérő mérete miatt.

Méréseimhez az optimálisnak talált 35 mm-es mérőfejet használtam, a deformáció maximális, megengedett értékét 60 %-ra állítottam be, az adott deformáció eléréséhez szükséges erőt mértem.

3.2.3. Terhelési idő meghatározása

Előzetes vizsgálataink során, a mérési módszer finomításának harmadik lépéseként feladatom volt az optimális terhelési idő megadása.

Ennél a mérési sorozatnál is igyekeztem különböző bélzetszerkezetű termékeket vizsgálni. Ezekbe a kísérletekbe a fehér, a rozsos és a barna kenyereket vontam be. Fehér kenyérenél 12, barna és rozskenyérenél 10-10 szeletet vizsgáltunk. Az előzetesen már kiválasztott 35 mm-es mérőfej és 5 N terhelőerő alkalmazása mellett 30, 60, 90, és 120 másodperces terhelési időket vizsgáltam. A műszert relaxációs mérési módban használtam. A felvett deformáció-idő diagram segítségével, a teljes, a rugalmas és a plasztikus deformációt valamint a relatív rugalmasságot határoztam meg.

3.2.4. Mérési sebesség és a mintaelőkészítés menetének meghatározása

Kísérleteimet félbarna kenyéren végeztem, mérési sorozatonként 15-15 ismétléssel. A mérések első felében a 15 mm vastag kenyérszelet közepéből 35 mm átmérőjű korongot vágtam ki kiszűrőszerszám segítségével. Az állománymérőt a kidolgozott módszernek megfelelően relaxációs mérési módban használtuk, a terhelőerő értéke 5 N, a terhelés és tehermentesítés ideje 60 s. A mérésekhez P75-ös (75 mm átmérőjű alumínium korong) mérőfejet használtam, mozgási sebessége a mérés előtt és után 2 mm/s, mérés közben az első mérési sorozatnál 0,2 mm/s a másodiknál 1,7 mm/s volt. A 0,2 mm/s-os sebességgel kvázistatikus mérést kívántam megvalósítani, az 1,7 mm/s pedig az AACCC valamint az AIB kenyérvizsgálati módszerénél alkalmazott érték.

Ugyanígy sebesség-, erő- és időértékekkel a méréseket 15 mm vastag kenyérszeleteken is elvégeztem. Itt az alkalmazott mérőfej az előzetes vizsgálatokban kiválasztott A/BE 35-ös, 35 mm átmérőjű plexikorong volt.

A felvett deformáció-idő diagram alapján a teljes, a plasztikus és a rugalmas alakváltozás mértékét és a relatív rugalmasságot határoztam meg.

3.3. Módszer alkalmazhatóságának vizsgálata

Hat különböző típusú - fehér, házi jellegű, barna, rozsos, burgonyás valamint rozs – kenyeret választottam ehhez a méréshez.

A méréseket 15 mm vastagságú kenyérszeleteken végeztem. Az mintaszám fehér kenyéرنél 24, barna és rozsos kenyéرنél 20-20, a burgonyásnál 22, a házi jellegűnél 30 a rozskenyéرنél pedig 27 volt.

Az állománymérőt a kidolgozott mérési módszernek megfelelően relaxációs mérési módban 35 mm-es mérőfejjel használtam. Az alkalmazott terhelőerő 5 N, a mérési idő 60 s, a mérési sebesség 0,2 mm/s volt. A felvett deformáció – idő görbéből a teljes deformációt, a rugalmas és a plasztikus alakváltozás mértékét valamint a rugalmas és a teljes deformáció hányadosaként a rugalmassági fokot határoztam meg.

3.4. Az új módszer kapcsolata más kenyérvizsgálati módszerekkel

Az általam kidolgozott eljárást az AIB szabvánnyal és a TPA vizsgálattal hasonlítottam össze. A szerkezet vizsgálatát precíziós állománymérővel – Stable Micro Systems TA-XT2 – végeztem, a mérésekhez 35 mm átmérőjű plexi mérőfejet használtam különböző mérési módokban.

Az AIB szabvány a kenyerek minőségét a 25% deformáció eléréséhez szükséges erővel, a keménységgel jellemzi. A TPA viszont nem csak egy, hanem több jellemzővel írja le a vizsgált termék tulajdonságait. Kísérleteim során fehér, rozsos és barna kenyér tulajdonságait vizsgáltam a sütés napján. A kenyereket 15 mm-es szeletekre vágtam, a kenyér két végén 30-30 mm-es darabot kihagytam a vizsgálatból. Mindig a kenyérszelet közepét terheltem. Az ismétlések száma fehér kenyéرنél 40, rozsos és barna kenyereknél 36-36.

4. EREDMÉNYEK, ÉRTÉKELÉS

4.1. Elasztigráf elvű mérés megvalósítása állománymérővel

A mérések eredményeként kapott elasztigramokat és idő-deformáció görbéket összehasonlítottam. A két görbe lefutását tekintve megállapítható, hogy az elasztigramot 90°-kal elforgatva a precíziós állománymérővel mért idő-deformáció görbéhez hasonló lefutású görbét kapunk, az elasztigram jellegzetes pontjai az idő-deformáció görbén is egyértelműen meghatározhatók. A különböző kenyereknél mért teljes és plasztikus deformáció értékek az

Elasztigráf méréstartományán belül nagyfokú egyezést mutatnak. A TA.XT2 állománymérő alkalmasnak bizonyult tehát az Elasztigráf helyettesítésére, így segítségével más, az elasztigráfos mérésre alapozott vizsgálatok is elvégezhetők. A szűk méréshatárból eredő hátrányok kiküszöbölhetők, az Elasztigráfnál alkalmazott táblázatok átdolgozhatók, így a régi mérési elv megtartásával a mai kenyerek állománya nagy pontosságú méréssel jellemezhető.

4.2. Mérési módszer fejlesztése

Az Elasztigráf körülményes mintaelőkészítésének kiküszöbölésére és a nemzetközi gyakorlathoz igazodva méréseimet a továbbiakban kenyérszeleten kívántam folytatni, ehhez azonban az Elasztigráf elvén működő módszer finomítására volt szükség.

4.2.1. Mérőfej kiválasztása

A különböző mérőfejekkel 25 %-os deformáció eléréséhez szükséges erőt vizsgáltuk. Az a mérőfej tekinthető ideálisnak, amelynek átmérője elég nagy ahhoz, hogy az esetleg előforduló nagyobb pórusok a mérést ne zavarják, de elég kicsi ahhoz, hogy a héj közeli régiók elkerülhetők legyenek. A 10, a 25 és a 35 mm-es mérőfejek esetén a mért erőértékek viszonylag szűk hibasávban változnak, a terhelőfeszültség átlagait és hibasávjait figyelembe véve azonban egyértelműen a 35 mm átmérőjű mérőfej bizonyult a legjobbnak. További méréseimhez tehát ezt a mérőfejet használtam.

4.2.2. Terhelőerő meghatározása

Könnyen belátható, hogy a nagy méretű bélzethengernél alkalmazott 1875 g-os terhelés a maximum 15 mm magas szeleteknél milyen drasztikus változást okozna. Éppen ezért elkerülhetetlen a terhelőerő csökkentése. A megfelelő terhelőerőt az erő-deformáció jelleggörbék elemzésével állapítottam meg. Olyan értéket kerestem, amely elég kicsi ahhoz, hogy a laza szerkezetű, puha fehér és félbarna kenyerek esetében ne okozzon 60 %-nál nagyobb deformációt, viszont elég nagy ahhoz, hogy alkalmazásával a keményebb, nagyobb mennyiségű rozslisztet tartalmazó termékek esetén is mérhető deformációt érzünk el. Ezek alapján az 5 N terhelőerőt ítéltük elfogadhatónak, mert ekkora terhelés a fehér kenyér esetén kb. 40%, míg rozskenyér esetén kb. 15 % deformációt eredményez.

4.2.3. Terhelési idő meghatározása

Az elasztigráfos mérésnél a terhelés és a tehermentesítés egyaránt 3 percig tart, így az egyes vizsgálatok elvégzéséhez 6 perc szükséges. Ehhez adódik még hozzá a minta előkészítés ideje. A minőségellenőrzésnél fontos szempont, hogy a mérések ideje a lehető legrövidebb legyen, így ha beavatkozásra van szükség, az minél előbb megtörténjen. A 15-16 mm magas kenyérszelet szerkezete mechanikai hatásokkal szemben kevésbé ellenálló, mint az 50 mm magas bélzet henger, ezért a szelet esetén a kúszás és kirugózás folyamata rövidebb

terhelési idő mellett is jól jellemezhető. Kísérleteim ezen része a megfelelő mérési idő megállapítására irányult. Ha áttekintjük a teljes, plasztikus és rugalmas deformáció értékeinek variációs koefficienseit is azt tapasztaljuk, hogy 60 s terhelési idő esetén a koefficiens értéke minden paraméternél, minden kenyértípusnál 15 % alatt marad, ami a többi mérési időnél nem mondható el. A 30 másodperces mérési időnél a CV értéke 2,9-46,58 %, a 90 másodpercesnél 0,65-46,76 %, 120 másodpercnél pedig 3,68-47,02 % között változott.

A 60 másodperces terhelés-tehermentesítés esetén a mért jellemzők szórása elfogadhatóan szűk tartományban változik, a hibasáv ebben az esetben a legkisebb, és ezen időtartam alatt mind a kúszás, mind a kirugózás folyamata is lejártszódik. További méréseinkhez tehát a 60 másodperces mérési időt választottunk, így egy mérés időtartama alig több mint két perc az Elasztigráf 6 perces mérési idejével szemben.

4.2.4. Mérési sebesség és a mintaelőkészítés menetének meghatározása

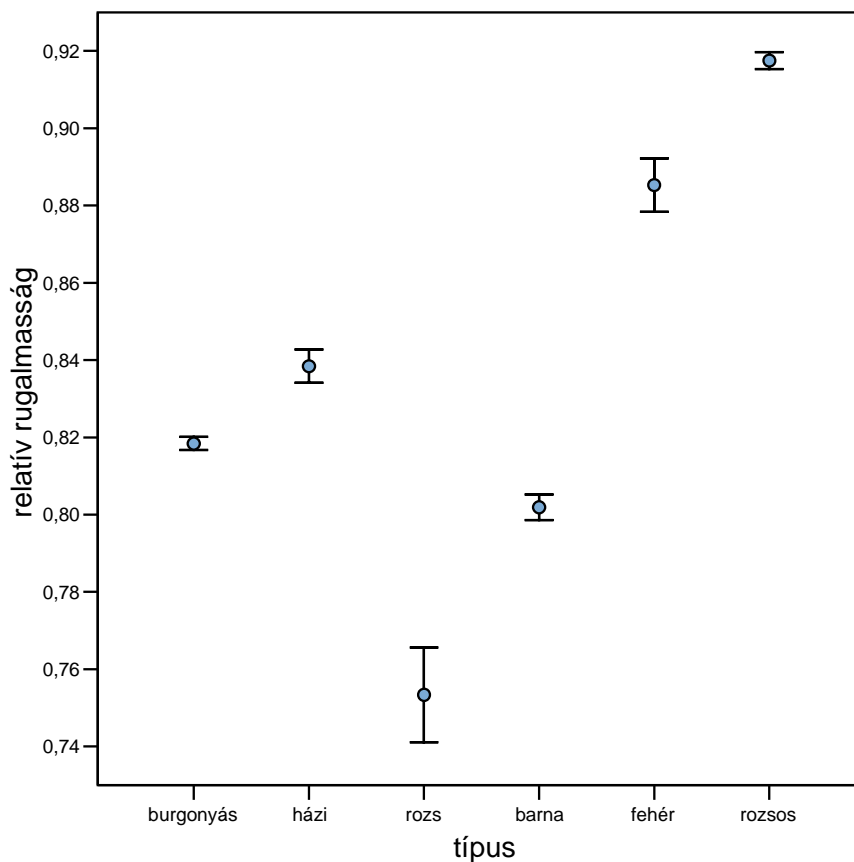
A 0,2 és 1, 7 mm/s penetrációs sebességgel végzett vizsgálatok eredményei alapján megállapítható, hogy ennél a két sebességértéknél a mérőfej mozgási sebességének nincs szignifikáns hatása a mért jellemzők értékeire. A kvázistatikus mérésnél azonban az eredmények variációs koefficiense kisebb, így további méréseinknél ezt a sebességet alkalmaztam

Az új módszerrel a 35 mm átmérőjű, 15 mm magas korongon és a 15 mm vastag teljes kenyérszeleten végzett mérések között szignifikáns különbség van, ami a minta és a mérőfej eltérő viszonyából, a mérés során fellépő eltérő erőhatásokból ered. A mérés során felvett idő-deformáció diagramról közvetlenül leolvasható teljes és plasztikus deformáció értékei között szoros kapcsolat van. Ugyanez igaz a relatív rugalmasság értékeire is, tehát a kétféle mintaelőkészítési és mérési módszerrel meghatározott paraméterek megfeleltethetők egymásnak. A rugalmas alakváltozás értékei közötti hiányzó vagy gyenge kapcsolat a kapott eredményeket érdemben nem befolyásolja. Ezek alapján a vizsgálatok egész kenyérszeleten is elvégezhetőek, kísérleteimben a továbbiakban ennek megfelelően jártam el.

4.3. Módszer alkalmazhatóságának vizsgálata

A kidolgozott módszer alkalmazhatóságát hatféle kenyéren vizsgáltam. A mérés során 0,2 mm/s előtolási sebességgel 35 mm átmérőjű nyomófej alkalmazásával a mintát 60 másodpercig 5 N erővel terheljük, majd 60 másodpercig figyeljük a visszaalakulását. A felvett idő-deformáció diagramról leolvasható a teljes és a plasztikus deformáció valamint meghatározható a rugalmas deformáció és a relatív rugalmasság értéke. Az eredmények

alapján a módszer alkalmas az eltérő típusú kenyerek relatív rugalmasságának mérésére, amely alapján az egyes kenyértípusok elkülöníthetők (2.ábra).



2.ábra: Error bar a hat különböző kenyértípus relatív rugalmasságának értékeléséhez

4.4. Az új módszer kapcsolata más kenyérvizsgálati módszerekkel

Sikerült tehát olyan új mérési módszert kidolgozni, amely az elasztográfus mérési módszer alapelveinek megtartása mellett alkalmazható a mai kenyerek vizsgálatára. Mérési módszerünk azonban akkor tekinthető a jónak, ha eredménye összehasonlítható a nemzetközi viszonylatban használt és általánosan elfogadott vizsgálatok eredményeivel. Az általam kidolgozott eljárást az AIB szabvánnyal és a TPA vizsgálattal hasonlítottam össze.

Az AIB kenyérrre vonatkozó szabványa a 25 %-os deformáció eléréséhez szükséges erőértékkel jellemzi a termék keménységét. A teljes (D) és a plasztikus (P) deformáció a relatív rugalmassághoz (R/D) hasonlóan szoros kapcsolatot mutat ezzel a jellemzővel, a rugalmas deformációval (R) viszont nem mutatható ki összefüggés (1. táblázat). A kidolgozott módszer tehát jó alternatívája lehet az AIB szabványnak. Bár a mérési idő hosszabb, a plasztikus deformáció és a relatív rugalmasság több információt hordoz, mint az egyszerűen meghatározott keménység, így a termékek állománya pontosabban jellemezhető.

1. táblázat: Az elasztigráf elvű mérés és az AIB szabvány szerinti eredmények közti kapcsolat jellemzői

jellemző	kapcsolat	R ²
D	negatív lineáris	0,8111
P	negatív exponenciális	0,9274
R	nincs kapcsolat	0,021
R/D	pozitív lineáris	0,9093

Második viszonyítási módszernek a Texture Profile Analysisist (TPA) választottam. Ezt a módszert két harapás tesztnek is nevezik, mivel a mintát egymás után kétszer terheli. Feltételeztük, hogy eredményei vélhetően összefüggést mutatnak a kidolgozott, tartós terhelésen alapuló módszer eredményeivel.

A teljes deformáció szoros kapcsolatban áll a keménységgel (2. táblázat). Ez nem meglepő, hiszen a két mennyiség nagyjából ugyanazt a tulajdonságot írja le. Gyenge az összefüggés a kohézióval, a rágási ellenállás és a rágáshoz szükséges energia esetén azonban már elfogadhatóan erős kapcsolat mutatkozik.

A plasztikus deformáció és a keménység, a rágási ellenállás és a rágáshoz szükséges energia közti kapcsolat szoros, a kohézió azonban kevésbé függ össze a plasztikus deformációval.

A rugalmas deformáció a TPA módszer egyetlen értékével sem mutat összefüggést. Ugyanez igaz a TPA rugalmasság és a kidolgozott módszer értékeinek viszonyára is.

A keménység és a relatív rugalmasság között szoros lineáris kapcsolat áll fenn, a determinációs együttható értéke 0,924. Összefüggés van a kohézió és a relatív rugalmasság között is, bár ez a kapcsolat az előzőekhez viszonyítva lényegesen gyengébb ($R^2=0,6602$). A relatív rugalmasság és a TPA módszerrel kapott rugalmasság értékek között nem találtunk összefüggést. A rágási ellenállás és a relatív rugalmasság összefüggése szoros, az illesztett lineáris modellhez tartozó determinációs együttható értéke 0,9029. A rágási ellenálláshoz hasonlóan a relatív rugalmasság a rágáshoz szükséges energiával is szoros kapcsolatban áll, a determinációs együttható értéke itt 0,9023.

Mint láttuk, a tartós terhelésen alapuló módszer eredményei és a két egymást követő terheléssel dolgozó módszer eredményei között is van kapcsolat. Az új eljárás értékelése egyszerűbb, könnyebben értelmezhető, tehát a TPA-nak jó alternatívája lehet, bár a méréshez szükséges idő valamivel hosszabb.

2. táblázat: Az elasztigráf elvű mérés és a TPA módszer eredményei közti kapcsolat jellemzői (D: teljes deformáció, P: plasztikus deformáció, R: rugalmas deformáció, R/D: relatív rugalmasság)

jellemző	keménység		kohézió		rugalmasság	
	kapcsolat	R ²	kapcsolat	R ²	kapcsolat	R ²
D	negatív exponenciális	0,8452	pozitív exponenciális	0,6787	nincs kapcsolat	0,0679
P	negatív exponenciális	0,9304	pozitív exponenciális	0,7012	nincs kapcsolat	0,12
R	nincs kapcsolat	0,0237	nincs kapcsolat	0,0011	nincs kapcsolat	0,0967
R/D	pozitív lineáris	0,924	negatív lineáris	0,6602	nincs kapcsolat	0,1708
jellemző	rágási ellenállás		rágáshoz szükséges energia			
	kapcsolat	R ²	kapcsolat	R ²		
D	negatív exponenciális	0,7906	negatív exponenciális	0,7794		
P	negatív exponenciális	0,9013	negatív exponenciális	0,8979		
R	nincs kapcsolat	0,0354	nincs kapcsolat	0,0403		
R/D	pozitív lineáris	0,9029	pozitív lineáris	0,9023		

Az eredmények alapján szoros összefüggést találtam az új mérési módszerrel nyert eredmények és a nemzetközi gyakorlatban elfogadott és alkalmazott American Institute of Baking szabvány alkalmazásával valamint Texture Profile Analysis-szel kapott eredmények között, ami alátámasztja az új módszer megbízhatóságát és alkalmazhatóságát.

5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Új mérési és értékelési módszert dolgoztam ki különböző porozitású kenyértípusok állománymérésére, melynek során 0,2 mm/s előtolási sebességgel 35 mm átmérőjű nyomófej alkalmazásával a mintát 60 másodpercig 5 N erővel terheljük majd 60 másodpercig mérjük a visszaalakulását. A felvett deformáció-idő diagramról leolvasható a teljes és a plasztikus deformáció, valamint meghatározható a rugalmas deformáció és a relatív rugalmasság értéke.
2. Az új módszerrel 0,2 és 1, 7 mm/s penetrációs sebességgel végzett vizsgálatok eredményeiből megállapítottam, hogy ennél a két sebességértéknél a mérőfej mozgási sebességének nincs szignifikáns hatása a teljes, a plasztikus és a rugalmas deformáció, valamint a relatív rugalmasság értékére. A 0,2 mm/s sebességgel végzett kvázistatikus mérésnél azonban az eredmények variációs koefficiense paramétertől függően 2-20% közötti, tehát kisebb mint 1,7 mm/s-nál, ahol 5-60% közötti. Így az előbbi sebességet alkalmasabbnak találtam az inhomogén kenyérbélzet további vizsgálatára.

3. Az új módszerrel a 35 mm átmérőjű, 15 mm magas korongon és a 15 mm vastag teljes kenyérszeleten végzett mérések esetén a teljes, a plasztikus és a rugalmas deformáció, valamint a relatív rugalmasság értékei között szignifikáns különbség van. Ez a minta és a mérőfej eltérő méretviszonyából, valamint a mérés során fellépő eltérő erőhatásokból ered. Bizonyítottam, hogy a korongon és szeleten mért fent említett jellemzők között szoros összefüggés van (az R^2 értéke 0,8-0,96 közötti), így a kenyérszeleten végzett mérések megfelelő eredményt adnak.
4. Az új módszer alkalmazásával az Elasztigráf 1000 elasztigráf egységes méréshatára kiterjeszhető, az eredmények dimenziója elasztigráf egység helyett milliméter, ami a ma szokásos kenyértípusokhoz megfelelőbb, ezáltal a deformáció értékei könnyebben értelmezhetők.
5. Szoros összefüggést ($R^2=0,8-0,92$) találtam az új mérési módszerrel nyert teljes és plasztikus deformáció valamint a relatív rugalmasság és a nemzetközi gyakorlatban elfogadott és alkalmazott American Institute of Baking szabvány alkalmazásával kapott keménység értékek között.
6. Szoros összefüggést (R^2 értéke 0,66 és 0,92 közötti) találtam az új mérési módszerrel nyert teljes és plasztikus deformáció, valamint a relatív rugalmasság és a nemzetközi gyakorlatban elfogadott és alkalmazott Texture Profile Analysis-szel kapott keménység, kohézió, rágási ellenállás és rágáshoz szükséges energia értékei között, ami alátámasztja az új módszer megbízhatóságát és alkalmazhatóságát.

6. JAVASLATOK TOVÁBBI TUDOMÁNYOS MUNKÁRA, ÉS A GYAKORLAT SZÁMÁRA

A téma folytatására az alábbi területeken látok lehetőséget:

- A különböző bélszerkezetű kenyerek nagy ismétlésszámú vizsgálatával az egyes kenyértípusok paramétereire a jellemző értéktartomány meghatározása. Ezzel az Elasztigráfnál kidolgozotthoz hasonló táblázat hozható létre, amely a késztermék minősítéséhez nyújtana segítséget.
- Az új módszerrel végzett nagy számú kísérlet alapján táblázat vagy útmutatás kidolgozása a technológiai hibák feltárására az ezeket jellemző értéktartományok meghatározásával.

- Érzékszervi minősítés eredményeinek összehasonlítása a kidolgozott mérési módszer deformáció-értékeivel és a relatív rugalmassággal, kapcsolatkeresés a szubjektív és az objektív jellemzők között.
- A meghatározott jellemzők értékét erősen befolyásolja a bélzet szerkezete, ezért célszerű lenne ezek porozitással való összefüggésének alaposabb vizsgálata. A porozitás számítógépes látórendszerrel történő meghatározása sok lehetőséget rejt magában.
- A módszer látórendszerrel történő együttes alkalmazása a kenyérbélzet állományának komplex leírását tenné lehetővé, így kidolgozható lenne egy olyan minősítési eljárás, melynek alkalmazása nemcsak a minőségbiztosításban hanem a termékfejlesztésben is érdeklődésre tarthat számot.

A DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK

Impakt faktoros idegen nyelvű folyóiratcikk

- Lambert-Meretei., E. Szendrei, M. Nogula-Nagy, A. Fekete. (2010):Methods to Evaluate the Effects of Bread Improver additive on bread Crumb Texture Properties, Acta Alimentaria v.39 (2) pp. 169-180

Nemzetközi konferencia, teljes

- Meretei, A. Fekete, R. Schaefer, R. Scherer (2002): Rheological Properties of Bread, paper no.: 026142, ASAE Annual International Meeting / CIGR XVth World Congress, Chicago, Illinois, USA, 28-31 July 2002, ((elibrary.asabe.org))
- Meretei, A. Fekete, G. Gallasz (2003): Hardness and Elasticity of Bread Crumb, paper no.: 036048, ASAE Annual International Meeting, Las Vegas, Nevada, USA, 27- 30 July 2003 (elibrary.asabe.org)
- A.Meretei., E. Szendrei, A. Fekete. (2004): Prediction of bread crumb texture quality. Proc. of 9th International Congress of Engineering and Food, Montpellier, Papers on CD.
- Fekete, A. Meretei, M. Nagy (2004): Rheological Evaluation of Bread Crumb Quality, paper no.: 046037, ASAE/CSAE Annual International Meeting, Ottawa, Ontario, Canada, 1-4 August 2004 (elibrary.asabe.org)

- M. Nagy, A. Fekete, A. Meretei. (2005.) Measurement and evaluation method for the characterization of bread crumb quality. Proceeding of Research and Teaching of Physics in the Context of University Education, Nitra pp. 217-220
- M. Nagy, R. Scherer, A. Fekete, A. Meretei, R. Schaefer (2006): Analysis of Firmness of Bakery Products, AgEng 2006 Conference, Enigneering the Future, Bonn, Germany, Papers on CD
- M. Nagy, A. Meretei, A. Fekete (2007): Bread Type Characterization by Rheological and Mechanical Properties, paper no.: 0760182007 ASABE Annual International Meeting, Technical Papers Volume 11 BOOK, 2007, 10p , (elibrary.asabe.org)
- Z. Kovacs, A. Lambert-Meretei, A. Fekete, (2009): Influence of post-baking cooling on texture properties and taste of fresh bread. Synergy and Technical Development (Synergy2009) Gödöllő, Hungary, 30. August – 02. September 2009, Papers on CD

Nemzetközi konferencia, összefoglaló

- A. Fekete, A. Meretei, M. Nagy (2004): Rheological and Quality Characteristics of Bread Crumb, AgEng 2004 Conference, Enigneering the Future, Leuven, Belgium, 12-16 September 2004, pp.1020-1021

Magyar nyelvű konferencia, teljes

- Meretei A.: (2001) Sütőipari termékek fizikai tulajdonságainak változása. MTA Agrártudományok Osztálya, Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás Nr.25 Gödöllő, pp.229-233
- Meretei A., Fekete A. és Scherer, R.: (2002) Kenyér bélszerkezetének értékelése kompressziós vizsgálatokkal, MTA Agrártudományok Osztálya, Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás Nr.26 Gödöllő 2. kötet pp. 130-134
- Meretei A. Gallasz, G.: (2003) Kenyérbélzet keménysége és rugalmassága. MTA Agrártudományok Osztálya, Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás Nr.27 Gödöllő, pp. 92-96
- Meretei A., Szendrei É., Nagy M., Fekete A. (2004.) Adalékanyagok hatása a kenyérbélzet fizikai tulajdonságaira. MTA-AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás kiadványa, Gödöllő. Nr. 28. pp.163-167.

- Nagy M., Meretei A. Fekete A. (2007): Módszer kenyértípusok jellemzésére. MTA Agrártudományok Osztálya, Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás Nr.31. Gödöllő, pp. 89-93
- Nagy M., Gillay Z., Firtha F., Baranyai L., Meretei A., Lukinac J., Fekete A. (2008): Kenyérbél porozitásának meghatározása látórendszerrel MTA-AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás kiadványa, Gödöllő pp. 109-113

Magyar nyelvű konferencia, összefoglaló

- Meretei A.: (2001) Sütőipari termékek fizikai tulajdonságainak vizsgálata. XXV. OTDK, 2001 Sopron Élelmiszertudományi „A” szekció p. 103
- Meretei Anikó- Gustav Gallasz (2003): Módszer kenyérbélzet vizsgálatára. Lippay János – Ormos Imre – Vas Károly Tudományos Ülésszak pp. 230-231
- E/47 Nagy M., Fekete A., Meretei A. (2005): Kenyérbélzet reológiai jellemzői. Lippay János – Ormos Imre – Vas Károly Tudományos Ülésszak, Vas Károly szekciók-Élelmiszertudomány pp.270-271.
- Nagy M., Meretei A., Fekete A. (2007): Módszer sütőipari termékek porozitásának meghatározására, Lippay János – Ormos Imre – Vas Károly Tudományos Ülésszak, Műveletek és Méréstechnikai Szekció, pp. 234-235
- Lambertné Meretei A., Kovács Z., Fekete A. (2009): A készárukezelés hatása a friss kenyér állományára és ízére. MBFT XXIII. Kongresszusa, Pécs, 2009. augusztus 23-26.
- Lambertné Meretei Anikó, Csima György, Fekete András (2009): Módszer kenyérbélzet reológiai jellemzésére. Lippay János – Ormos Imre – Vas Károly Tudományos Ülésszak, Budapest, 2009. október 28-30, Műszaki, Műveletek és Méréstechnika szekció, p206.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozom témavezetőimnek dr. Fekete Andrásnak és dr. Baranyai Lászlónak, valamint dr. Felföldi Józsefnek a szakmai segítségért, rendkívül értékes tanácsaiért és türelméért.

Külön köszönöm dr. Szalai Lajosnak gyakorlati segítségét, javaslatait, valamint dr. Zsorné dr. Muha Viktóriának, Kovács Zoltánnak, Csim Györgynek és Szöllősi Dánielnek a támogató, baráti háttérrel.

Ezúton is szeretném megköszönni segítőkész kollégáim és tanáraink állandó biztatását, építő jellegű kritikáit, melyek nélkül valószínűleg nem készült volna el dolgozatom.

Végül köszönet illeti családomat a kitartó bátorításért és támogatásért.