MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

Hőmérsékleteloszlás hatásának vizsgálata a muffinok reológiai tulajdonságaira

Investigation of the effect of temperature distribution on the rheological properties of muffins

TDK dolgozat

Készítette: **Szijj Zita Viktória**
O39VQW
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
Élelmiszermérnök alapképzés
Nappali tagozat
Budai Campus

Témavezető: ***Dr. Kaszab Tímea***, egyetemi adjunktus, MATE, Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet, Élelmiszeripari Méréstechnika és Automatizálás Tanszék, Budai Campus

Dr. Baranyai László, tanszékvezető, egyetemi tanár, MATE, Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet, Élelmiszeripari Méréstechnika és Automatizálás Tanszék, Budai Campus

Budapest
2024

Tartalomjegyzék

Jelölésjegyzék 2
1. Bevezetés 3
2. Célkitűzés 4
3. Irodalmi áttekintés 5
3.1. Hőtérkép 5
3.2. Hőterjedés formái a sütésnél 6
3.2.1. Sugárzás 6
3.2.2. Kondukció 6
3.2.3. Konvekció 6
3.3. Színvizsgálat 7
3.3.1. CIE Lab színtér 7
3.3.2. Maillard-reakció 7
3.4. Állományvizsgálat 8
3.4.1. A reológia alapjai 8
3.4.2. Precíziós állománymérés 9
3.5. Korábbi kutatási mérések 10
3.5.1. Hőeloszlás 10
3.5.2. Színmérés 13
3.5.3. Állományvizsgálat 14
3.5.4. Porozitás 16
4. Anyagok és módszerek 19
4.1. Felhasznált anyagok 19
4.2. Mérési módszerek 21
4.2.1. Hőmérséklet 21
4.2.2. Szín 21
4.2.3. TPA teszt 22
4.2.4. Porozitás 23
4.2.5. Statisztikai elemzés 23
5. Eredmények és értékelésük 25
5.1. Hőmérséklet 25
5.2. Szín 26
5.2.1. Világossági tényező (L*) 27
5.2.2. Vörös – zöld színezeti jellemző (a*) 28
5.2.3. Sárga – kék színezeti jellemző (b*) 30
5.3. Állományvizsgálat 31
5.3.1. Keménység 31
5.3.2. Kohézió 32
5.3.3. Tapadósság 33
5.3.4. Ruganyosság 35
5.4. Porozitás 36
6. Összefoglalás 38
7. Irodalomjegyzék 40
8. Ábra- és táblázatjegyzék 43
9. Mellékletek 44
Köszönetnyilvánítás 49

Jelölésjegyzék

a*	vörös – zöld színezeti jellemző
ANOVA	varianciaanalízis (analysis of variance)
b*	sárga – kék színezeti jellemző
CV	variációs koefficiens (coefficient of variation)
L*	világossági tényező
SD	szórás (standard deviation)
TPA	két harapás teszt (Texture Profile Analysis)
VAR	szórásnégyzet (variance)

Minta pozíciók jelölésének rövidítései:

BH	bal hátsó
BK	bal középső
BE	bal elől lévő
KH	közép hátsó
KK	közép középső
KE	közép elől lévő
JH	jobb hátsó
JK	jobb középső
JE	jobb elől lévő

Az ábrákon megjelenő tálcajelzések:

S_F	sima muffin felső tálca
S_K	sima muffin középső tálca
S_A	sima muffin alsó tálca
A_F	almás muffin felső tálca
A_K	almás muffin középső tálca
A_A	almás muffin alsó tálca

1. Bevezetés

Az elmúlt évek áremelkedései és a fogyasztók növekvő minőségi elvárásai miatt egyre többen választják, hogy otthon készítik el a cukrásztermékeket. Az otthoni sütési lehetőségek, a különböző fajtájú sütők azonban nagy különbségeket eredményezhetnek a bennük készített sütemények minőségében.

Mindig is szerettem sütni, így elsőként otthon tapasztaltam, hogy az adott tálcán elhelyezett sütemények, máshogy sültek meg a pozíciójuktól függően, ennek köszönhetően már régóta érdekelt, hogy lehet-e esetleg valamilyen állandó tendenciát felfedezni az elhelyezkedés és a sütemény elkészülésének ideje között. Meglepve tapasztaltam, hogy viszonylag kevés kutatás foglalkozott eddig a kérdéssel a reológiai mérések szemszögéből, így mindenképpen fontosnak tartottam a téma alaposabb vizsgálatát.

2. Célkitűzés

Azok a korábbi kutatások, melyek kitértek a téma vizsgálatára többségében azt találták, hogy a hőforrástól távolabb elhelyezett minták, melyek így alacsonyabb hőmérsékleten sültek, több időt igényeltek, ahhoz, hogy elkészüljenek, erre példa Tank és munkatársai (2012) kutatása is.

Ezért szakdolgozatom célja volt:

- a téma szakirodalmi körüljárása, feldolgozása;
- a sütés hőmérsékleteloszlás és hatásának vizsgálata reológiai szempontból;
- az általam készített muffinok vizsgálata szín, valamint porozitás mérésével;
- a kapott értékek alapján összefüggést keresni az egyes sütési pozíciók között;
- a talált összefüggések különböző statisztikai módszerrel történő alátámasztása.

3. Irodalmi áttekintés

Az irodalmi áttekintésemben szeretném elsőként ismertetni a hőtérképezés módszerét, ezt követően bemutatom a hőterjedés formáit, majd a dolgozatomban szereplő mérési módszerek elméleti hátterét. Végül pedig betekintést szeretnék nyújtani a témához kapcsolódó korábbi kutatásokba.

3.1.Hőtérkép

A hőtérkép egy olyan ábrázolási mód, amely alkalmas a számok kétdimenziós táblázatainak színárnyalatokként való megjelenítésére, ezt a technikát előszeretettel alkalmazzák például a biológiában, segítségükkel több száz sort és oszlopot tudunk egy adott képernyőn megjeleníteni, emellett elterjedten használják például értéktartományok bemutatására is. Hőtérkép készítésekor fontos szerepe van még a megfelelő színek megválasztásának is, például ajánlatos kerülni a piros-zöld színkombinációt, ugyanis ez a színvakok számára korlátozná a hőtérkép helyes megértését, három különböző árnyalat alkalmazásakor a tartomány két vége könnyen elkülöníthető egymástól, ugyanakkor egy adott szín eltérő árnyalataiból létrehozott színátmenet használata jó hangsúlyt tud fektetni az egyik végletre (Gehlenborg és Wong, 2012).

A hőtérképek jól alkalmazhatók mátrixokba rendezett, bonyolult adathalmazok ábrázolására. Statisztikai hőtérkép készítésekor két, egymást követő műveletet végeznek el az adatmátrixon, melyek közül az első az oszlopok és sorok átrendezése szokványos esetben. A mi esetünkben ezt a lépést kihagyjuk, ugyanis akkor nem látnánk megfelelően a térbeli eloszlást. A második lépés pedig a mátrix minden egyes elemének színekként való megjelenítése, mely lehetővé teszi az adott mintázatok grafikus ábrázolását (Key, 2012).

Hőtérkép készítésekor a legfontosabb döntések az adatmátrixra és a dendogramra vonatkoznak, ugyanis ahhoz, hogy megfelelő skálát kapjunk sok esetben az adatok transzformálására van szükség. Az, hogy milyen transzformációkat alkalmazunk, valamint, hogy milyen színpalettát választunk, mind hatással van arra, hogy a kialakuló minta milyen lesz és azt hogyan lehet értelmezni (Galili és munkatársai, 2018). A fent említett dendogram egy gyakran alkalmazott, grafikus megjelenítésre szolgáló módszer a hierarchikus klaszterezés eredményeinek bemutatására (Key, 2012).

3.2. Hőterjedés formái a sütésnél

3.2.1. Sugárzás

Az abszolút nulla fok feletti hőmérsékleten minden tárgy sugároz energiát a környezete felé, melyet elektromágneses hullámok formájában bocsájt ki; a hősugárzás ennek egy olyan fajtája, melynél a sugárzás a magasabb hőmérsékletű tárgyakról az alacsonyabb hőmérsékletűekre irányul. Sütéskor a tésztadarabokra ható infravörös energia egy része elnyelődik, másik része visszaverődik, az elnyelt energia behatol a tészta belsejébe és gyorsan felmelegíti annak egyes régióit. A hőenergia átadásának ez a módja három fő tényezőtől függ,

- a sugárzó felület jellege, valamint emissziós képessége;
- a sugárzó felület és a tészta közötti távolság, már kismértékű csökkenése is a hőátadás nagymértékű növekedéséhez vezet;
- a sugárzófelület és a tészta közti hőmérsékletkülönbség, sugárzó felület hőmérsékletének kis mértékű emelkedése is nagy mértékű hőátadás növekedést okoz (Davidson, 2016).

3.2.2. Kondukció

A kondukció, más néven a hővezetés, egy tárgyon belül a szomszédos molekulák közötti vagy az egymással érintkező tárgyak közötti hőeneregia átadást jelenti, az energia itt is a magasabb hőmérsékletű helyről az alacsonyabb hőmérsékletű felé terjedt, melynek eredménye a hőmérséklet kiegyenlítődése. Meg kell említenünk még a sütő szigetelésének fontosságát is, ugyanis a hő a sütőtér falán keresztül távozhat, ezért megfelelően alacsony hővezetésű anyagot kell választanunk a falak szigeteléséhez, hogy csökkentsük az ebből származó hőveszteséget (Davidson, 2016).

3.2.3. Konvekció

A fluidumok egyik fontos jellemzője a sütőtérben is megfigyelhető. A forró levegő, a kisebb sűrűsége miatt felemelkedik. Ezt figyelembe kell venni például, ha a sütőtér alsó és felső felében a hőmérsékletet külön szeretnénk szabályozni. Sütéskor a forró levegőt közvetlenül a tészta felületére vagy a sütőszalagra fújják, ilyenkor a magas hőmérsékletű levegő gyorsan távolítja el a felületről a nedvességet. Mindeközben a felület hőmérsékletét is növeli, a gyors száradás kemény kéreg képződéséhez vezet. Emellett megakadályozza a tészta megfelelő tágulását és emelkedését, abban az esetben, ha a sütés kezdeti szakaszában alkalmazzák (Davidson, 2016). Így a sütés elején elterjedt a gőz befújása, hogy a magas hőmérséklet ellenére elkerüljék a felület kiszáradását.

3.3. Színvizsgálat

A következőkben szeretnék betekintést nyújtani a színvizsgálat alapjaiba, mint az egyik későbbiekben alkalmazott vizsgálati módszer hátterébe.

3.3.1. CIE Lab színtér

A CIE Lab színtér három tényezőből áll, melyek a következőek: világossági tényező (L*), értéke 100 (tökéletes fehér) és 0 (tökéletes fekete) között mozog; vörös – zöld színezeti jellemző (a*), a negatív értékek a zöld, míg a pozitív értékek a vörös színárnyalatokat jelölik; sárga – kék színezeti jellemző (b*), ahol a negatív értékek a kék árnyalatokat, a pozitív értékek pedig a sárga árnyalatokat jelölik.

Az a* és b* segítségével tudjuk értelmezni a króma (C^*_{ab}) értékét (1), de a h°_{ab} színezeti szög is számolható (2). Az L* a*b* paraméterek ismeretében színingerkülönbség (ΔE^*_{ab}), mint a térbeli pontok távolsága (3) is meghatározható:

$$C^*_{ab} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (1)$$

$$h^\circ_{ab} = \arctan\frac{b^*}{a^*} \quad (2)$$

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (3)$$

ahol a ΔL^*, Δa^* és Δb^* értékeket úgy kapjuk meg, hogy a mintára vonatkozó értékekből kivonjuk egy adott standard értékeit. Ez a módszer alkalmazható még két minta összehasonlításakor is, nem csak az etalontól való eltérés vizsgálatakor (László, 2006a; Broadbent, 2017).

3.3.2. Maillard-reakció

A sütőipari termékek jól ismert színét biokémiai reakciók összetett rendszere hozza létre, melyek akkor kezdődnek, amikor a tészta felületi hőmérséklete magasabb, mint 100 °C. A szín sötétedésének fő okaként a Maillard-reakciót tartják számon. A színnek igen jelentős szerepe van a péktermékek minőségellenőrzésében, megjelenése a sütési folyamat befejezettségét jelölheti, emellett a színváltozás összefüggésben van a keménységgel is, a legtöbb pékáru esetében ugyanis a sötétedés keménység növekedéssel is együtt jár (Abdullah, 2008).

A Maillard-reakció felelős az élelmiszerekben többek között a barna szín kialakulásáért, azonban sajnos lehetnek nem kívánatos következményei is, mint például az akrilamid keletkezés, amely egy mérgező vegyület. A Maillard-reakció melegítés hatására következik be az élelmiszerekben, és a redukáló szénhidrátok, valamint a fehérjék vagy aminosavak szabad aminocsoportjai között lejátszódó reakciót jelenti (Gökmen, 2016).

3.4. Állományvizsgálat

3.4.1. A reológia alapjai

A reológia egy görög eredetű kifejezés, mely a „ρεο” folyás és „λογοσ” tudomány szavakból ered és azt jelenti, hogy a folyás tudománya. A deformációkkal és az azokat előidéző erőhatásokkal, valamint ezeknek az időtől, hőmérséklettől és nyomástól való függésével foglalkozik. Reológiai anyagoknak nevezzük az olyan anyagokat, ahol a deformáció után az idő hatásával is számolnunk kell. Az olyan reológiai anyagokat, ahol az idő mellett a feszültségnek is függvénye a deformáció, nemlineáris anyagoknak nevezzük. Ilyen az élelmiszerek többsége is, ezáltal ennek a tudományterületnek nagy jelentősége van az élelmiszeriparban, ugyanis a feldolgozás minden lépésében feltárhatja az adott termék egyes érzékszervi tulajdonságait. Emellett segítségül szolgál a technológiai és műszaki fejlesztések megfogalmazásához, és utal a minőségre, mint lényeges paraméterre (László, 2006b).

Három reológiai alapmodellt tudunk megkülönböztetni, melyek mindegyike ideális, ezek a rugalmas, vagy más néven elasztikus, a viszkózus, valamint a plasztikus alaprendszerek. Az elasztikus tulajdonság az élelmiszerekre kevésbé jellemző, inkább fémhuzalok, rugók tulajdonsága. A viszkózus alaprendszer lényegében a newtoni folyadék, az élelmiszerek többsége azonban úgynevezett nem newtoni folyadék, ugyanis esetükben az alakváltozás sebessége és a nyírófeszültség nem egyenesen arányosak (László, 2006b). Tisztán plasztikus anyaggal az élelmiszeriparban nem találkozhatunk, azonban a halomban tárolt szemes termények esetében vizsgálhatjuk a halmaz plasztikusságát.

A mindennapokban megtalálható élelmiszerek összetett viselkedést mutatnak, ezeken belül az anyagok igen nagy csoportjára a viszkoelasztikus vagy a viszkoplasztikus viselkedés jellemző. Ilyen anyag lehet folyadék és szilárd is egyaránt (László, 2006b; Vozáry, 2015). A kenyérbélzet azonban a plasztikus mellett mutat még rugalmas tulajdonságokat is, emellett a bélzet reológiai modellje két Hooke, két Newton és egy plasztikus elem összekapcsolásával írható le (Lambertné Meretei, 2012).

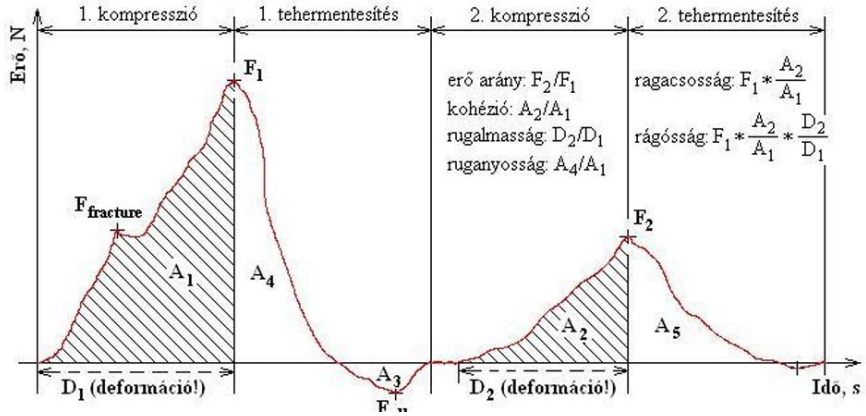
A Maxwell- és Kelvin-modell segítségével leírható folyamatnál a viszkózus és az elasztikus tulajdonság egyaránt jelen van, ezek kételemű reológiai modellek. Az ilyen testek viselkedése úgynevezett elasztoviszkózus viselkedés. Ebben az esetben a viszkózus elem tompítja az elasztikus elem deformációját. Abban az esetben, ha a terhelést megszűntetjük, akkor a deformáció mértéke gyorsan csökkeni kezd, de lesz visszamaradó deformáció is (László, 2006b).

3.4.2. Precíziós állománymérés

A kutatás során az állományméréshez különböző állománymérő berendezés alkalmazható, amelyhez hozzátartozó különböző mérőfejeknek és egyéb tartozékoknak köszönhetően lehetővé válik számos valós helyzet szimulálása. Többek között alkalmas élelmiszerek, kozmetikumok és gélek vizsgálatára is, de alkalmazza még a gyógyszer-, festék-, műagyag- és építőipar is. A műszerhez általában tartozik egy szoftver is, mely segítségével számszerűsíthetjük az adott termék texturális jellemzőit, és ezeket az adatokat archiválhatjuk is a későbbi hozzáférhetőség érdekében. A sütőipari termékek esetében a vizsgálati módszerek széles választéka áll rendelkezésünkre, melyek közé tartozik például az összenyomás, a vágás vagy a húzás (Internet 1., 2., 3.).

Az egyik fontos mérési módszer a TPA, vagyis a Texture Profile Analysis. Ennek a mérésnek a lényege a rágás imitálása, melyet úgy érnek el, hogy a megfelelő méretű élelmiszermintát az alaplemezre helyezik, majd egy lemez segítségével kétszer összenyomják (Bourne, 2002). A kettős terhelésnek köszönhetően az erő deformáció görbe nehezebben értékelhető, ezért a két összenyomás között várakozási időre van szükség. Fontos megjegyeznünk még, hogy a mérőfej mozgási sebessége nem változik a mérés során, valamint, hogy az eltelt idő és a deformáció értékei arányosak egymással (Lambertné Meretei, 2012). Egy lehetséges TPA mérés eredményeit mutatja az ***1. ábra***.

1. ábra *Egy jellegzetes TPA mérési görbe élelmiszerek esetében (Forrás: Csima, 2015)*



A fenti ábra értelmezésében segít a mérés során meghatározható fontosabb paraméterek ismerete.

- Keménység (hardness): az erő érték, mely ahhoz szükséges, hogy elérjük az adott mértékű deformációt, az első összenyomási csúcs magasságaként írható le, SI mértékegysége a N.

- Rugalmasság (springiness): a rugalmas, valamint a plasztikus alakváltozás mértéke, az eredeti alakba való visszaalakulást jellemzi az adott minta esetében, SI mértékegysége a mm.
- Kohézió (cohesivness): a minta belsejében uralkodó kötőerőt jellemzi, számítással határozható meg, a két csúcs alatti területek hányadosaként, dimenziómentes érték.
- Rágási ellenállás (gumminess): az erő érték, mely a minta rágásához szükséges, számítással határozható meg a keménység és a kohézió szorzataként, SI mértékegysége a N.
- Rágáshoz szükséges energia (chewiness): az energia, mely ahhoz szükséges, hogy a mintát lenyelhetővé tegyük, számítással határozható meg a rágási ellenállás és a rugalmasság szorzataként, SI mértékegysége a N × mm, vagyis a mJ (Lambertné Meretei, 2012).

3.5. Korábbi kutatási mérések

3.5.1. Hőeloszlás

A sütés egy olyan összetett folyamat, melyben egyszerre több jelenség játszik szerepet, mint a hő- és tömegátadás, valamint a légáramlás, ezek közül a hőátadásnak három típusa van, a konvekció, a kondukció és a sugárzás, melyek különböznek a sütőtér kialakítása és működése függvényében (Boulet és munkatársai, 2010). A hőátadás típusának tehát igen jelentős szerepe van a termék minősége szempontjából, például olyan élelmiszerek készítése esetén, melyek kényesek és száraz légkört igényelnek, fontos a természetes konvekció alkalmazása (Mistry és munkatársai, 2006). A termék hőfelvétele, mely a művelet során jelentős mértékben változik, kritikus a minőség szempontjából, a hőfelvétel a sütés kezdeti szakaszában a legmagasabb, ugyanis később csökken a hőmérséklet különbség a termék és a sütő között, ami kisebb hőfelvételt eredményez (Boulet és munkatársai, 2010).

A légáramlás mintázata a sütőben befolyásoló hatással lehet a sütés hőátadására, ezért fontos a sebességprofil vizsgálata, kijelenthetjük még azt is, hogy a természetes konvekciónak köszönhetően a fűtés légmozgást idéz elő a sütő felső régiójában. A sütőtérben a levegő hőmérsékletprofiljára, valamint az elkészült kenyér minőségére hatással van a szellőzőnyílások és a kenyér elhelyezkedése is. A légáramlási mintázat egyenlőtlensége többnyire egyenlőtlen hőeloszláshoz vezet a sütőtér belsejében. A hőmérsékletprofil azonban függ még a szellőzőnyílások és a fűtőforrások pontos elhelyezésétől is. A sütőtér felső részén magasabb hőmérséklet tapasztalható, mint az alsóban, ami annak is köszönhető, hogy a forró levegő a felső térrészben halmozódik fel, ez azt eredményezi, hogy a felső tálcán sütött kenyerek

hamarabb készülnek el, mint az alsó tálcán lévők. Ezenfelül azoknak a kenyereknek a középpontja, amelyeket egy fűtőforrás közelében helyeznek el, jelentős mértékben gyorsabb melegedést mutat, mint a távolabb elhelyezkedők, amelyek 20-40 °C mértékben is lemaradhatnak (Anishaparvin és munkatársai, 2010). A fent említett esetben a kutatók egy kísérleti méretű elektromos sütőkemencét alkalmaztak.

Hasonló eredményre jutottak még Tank és munkatársai (2012) is, zsemlék sütésének vizsgálatakor, akik egy kísérleti méretű elektromos sütőt alkalmaztak, megállapításaik is erre vonatkoznak. Kimutatták például, hogy a sütés alatt a sütőtér felső részében a hőmérséklet 25-30 °C mértékkel magasabb volt, mint az alsó felében. Ez ahhoz is vezetett, hogy az alacsonyabb hőmérsékletű zónákban elhelyezett zsemléknek 3-5 perccel több időre volt szükségük ahhoz, hogy készre süljenek. A sütési folyamat során a zsemlék belsejében fokozatosan két elkülönült zóna alakul ki, a kéreg és a bélzet, utóbbiban a hőmérséklet nem éri el a 100 °C értéket, míg előbbi esetén jelentősen meghaladja azt. Ez annak is köszönhető, hogy a párolgás-kondenzációs mechanizmus, valamint a víz látens fázisátalakulási hője nem engedi, hogy a bélzet hőmérséklete meghaladja a 100 °C értéket. A zsemlék felső felületén a sugárzásos hőátadás a domináns, így ott a hőmérséklet magasabb, mint a többi oldalon. A felületi hőmérséklet az egész zsemle esetében a sütési folyamat végéig folyamatos emelkedést mutat, azonban a maghőmérséklete a zsemléknek adott idő után elér egy maximális értéket, majd a folyamat végéig meg is tartja azt. A belső hőmérsékletben fellépő különbségek befolyásolják a sütési időt, ezáltal pedig a kész termék minőségét is. Ezek a különbségek főképp a hőeloszlás egyenlőtlenségének tulajdoníthatóak, mértéke minimalizálható, kijavítható lehet a tálcák forgatásával.

Chhanwal és munkatársai (2010) a fent említettekkel megegyező megállapításokra jutottak, amikor kenyerek sütését vizsgálták háztartási elektromos sütőben. Azt is megállapították még, hogy a kenyér minősége abban az esetben lesz megfelelő, ha a melegítés egyenletes. Ahogy az idő telik a sütés során a forró levegő elkezd szétterjedni a sütőben, melynek köszönhetően kísérleti adatok alapján megközelítőleg 20 perc eltelte után a hőmérséklet egyenletessé válik a sütőtérben. A kenyér felszínén és annak közelében a hőmérséklet lényegesen magasabb, mint a közepén, ahol ugyan közel huszonöt perc alatt eléri a 100°C hőmérsékletet, de azt már nem lépi túl. Ez a jelenség felelős a kenyér kérgének kialakulásáért, valamint barnulásáért, ezáltal pedig a minőségéért is.

Reddy és munkatársai (2020) kutatásuk során több megállapítást tettek a sütés során szükséges hőáramot illetően, kísérletükhöz egy reflektorral ellátott, fűtőtekercsekből álló sütőkemencét alkalmaztak. A sütés kezdeti szakaszában a szükséges hőáram nagyobb, míg a

folyamat előrehaladtával értéke csökken, ezt az értéket befolyásolja még a termék mérete és deformációja, valamint a konvekció módja is. A deformálatlan kenyerek esetén nagyobb hőáram szükséges, mint a deformáltaknál, emellett a sugárzó hőáram értéke nagyobb, mint a konvektívé, noha ez az eltérés a sütési folyamat végére többé-kevésbé megszűnik. A sugárzó hőáram a hőátadás megközelítőleg 70%-át adja a természetes és a kényszer konvekció alkalmazása esetén. Kimutatható még, hogy a kenyerek felületének hőmérséklete magasabb, mint 100 °C, míg a középhőmérséklet csak nagyobb felület/térfogat arány esetén képes egyáltalán elérni a 100 °C értéket, melyet azután nem halad meg.

Bredariol és munkatársai (2019) kísérletük során szintén azt tapasztalták, hogy az általuk vizsgált kenyér közepének hőmérséklete egyik sütési paraméter beállítás mellett sem haladta meg a 100 °C értéket, míg a kéreg hőmérséklete gyorsan elérte azt, majd meg is haladta közelítve a sütőtér levegőjének hőmérsékletéhez. Kutatásuk során a kenyerek sütéséhez ipari kemencét alkalmaztak.

A hőmérséklet emelkedése a muffinok esetében három elkülöníthető szakaszra bontható Seranthian és Datta szerint (2023). Az elsőben a hőmérsékletemelkedés megközelítőleg lineárisnak tekinthető. A második szakaszban a nagy mértékű párolgás miatt lehűlés következik be, így a hőmérséklet stabilizálódik. Végül az utolsó szakaszban a hőmérséklet ismételten emelkedni kezd, ami főképp a sütő fal- és levegőhőmérsékletének növekedésének köszönhető. Ezek a kísérleti megfigyelések hagyományos sütőben készült muffinokra vonatkozna.

A hőmérséklet-eloszlást, valamint a levegő áramlást lehet vizsgálni CFD-modell (Computational Fluid Dynamics) segítségével is, erre példa Khatir és munkatársai (2012) kutatása. Ők egy közvetlen tüzelésű, kényszer konvekciós sütőre fejlesztettek ki egy ilyen modellt, majd kísérleti adatok segítségével validálták. Ez igazolta a modell alkalmasságát arra, hogy betekintést nyújtson kulcsfontosságú sütési kérdésekbe, mint amilyen a hőmérséklet egyenletlensége is. A CFD- modellezés, vagyis a számítógépes áramlástani modellezés, segíti a hatékony működéshez és az egyenletes minőségű termék előállításhoz szükséges mechanizmusok megértését (Boulet és munkatársai, 2010).

A sütés folyamata során a sütő hőmérsékletének viselkedése periodikus. A nagyobb légáramlási sebesség és a kisebb sütőtér rövidebb sütési időt tesz szükségessé, emellett a kisebb sütőtér magasabb effektív hőmérsékletet is eredményez, ugyanis kevesebb energiát használ fel, mint a nagyobb sütőterek. Konvekciós sütőknél azonban a hőmérséklet lassan növekszik a folyamat során, mérési adatok alapján 1,4-szer többi dőre van szüksége a 95 °C hőmérséklet eléréséhez, minta légkeveréses sütőknek, ami azt is jelenti, hogy a légkeveréses sütőkben a

melegítés során a hőmérséklet szignifikánsan magasabb, mint a konvekciósakban (Azmi és munkatársai, 2020).

Konvekciós és légkeveréses sütés összehasonlításakor a sütés első szakaszában nem figyelhetünk meg szignifikáns eltérést a sütemény magasságát illetően, ugyanis a hő még csak lassan hatol be a tésztába, így nem okoz nagy mértékű tágulást, a második szakaszban azonban a légkeveréses sütőben készült sütemény magasabb százalékú növekedést mutatott, mint a konvekciós sütőben készült. A hőmérsékletet vizsgálva kijelenthetjük még, hogy a magasabb sütési hőmérséklet nagyobb térfogatnövekedést eredményez, mint az alacsonyabb (Azmi és munkatársai, 2020).

Ipari kemencék esetén, ha változik a konvekciós és a vezetéses hőátadás aránya, akkor változik a termékminőség és az energiafogyasztás is. Erre végeztek egy kísérletet Zareifard és munkatársai (2009) is, mikor a hőáram állandó értéken tartása mellett a standard értéknél kisebb és nagyobb arányú százalékban alkalmaztak konvekciót a sütés során. A konvekciós arány befolyással volt többek között a keménységre is, 11% konvekciós aránynál a sugárzásos hőátadási mód nagyobb aránya következtében a kéreg gyorsabban képződött, ami kisebb térfogathoz és nagyobb keménység értékhez vezetett.

Kenyerek esetében a belső hőmérsékletben jelentős különbségek lépnek fel annak, függvényében, hogy milyen sütési módszert használunk, valamint, hogy mekkora maga a kenyér. Hagyományos sütő és nagy méretű kenyerek esetén három szakaszt tudunk elkülöníteni a sütés során, az elsőt lassú, a másodikat gyors, a harmadikat pedig 90°C feletti aszimptotikus hőmérsékletemelkedés jellemzi. Impulzuskemencében sütött kenyerek esetén a folyamat befejeződik, mielőtt a hőmérséklet elérné a harmadik fázist. A hibrid kemencében készült, valamint a kis méretű kenyerek esetén az első szakasz elhanyagolható. A felmelegedési sebesség tekintetében is találunk különbségeket, leggyorsabban a hibrid kemencében sütött kis kenyerek melegszenek, míg leglassabban a hagyományos kemencében készült nagy kenyerek (Patel és munkatársai, 2005).

3.5.2. Színmérés

Seranthian és Datta (2023) a muffinok sütési dinamikájával foglalkozó vizsgálatukban többek között foglalkoztak a sütés során bekövetkező színváltozás vizsgálatával is. A színméréshez egy VeyKolor színmérőt használtak, szabványos, fehér fényű megvilágítás mellett. A sütés során több időpontban is mérték a muffinok felső felületének a*, b* és L* értékeit, majd kiszámították a barnulási indexet (ΔE), a nyers tészta és az elkészült muffin közötti színingerkülönbség alapján. Ezt az értéket a színképződés vizsgálatához az egyetlen

változójuknak választották, ugyanis a sütemény színét a barnulással lehet leginkább kifejezni. Méréseik során megállapították, hogy a sütés első, körülbelül 16 percében nincs jelentősebb barnulás, valamint azt is, hogy a sütés hőmérséklete számottevő mértékben befolyásolja a barnulást.

Hasonló módszert alkalmaztak még Martínez-Cervera és munkatársai (2012) is, amikor a csökkentett cukortartalom hatását vizsgálták elektromos sütőben készült muffinok tulajdonságainak tekintetében. A szín esetében arra a megállapításra jutottak, hogy a b* értékei jelentősen nagyobbak voltak, ami azt jelenti, hogy a kontrollhoz képest a csökkentett cukortartalmú muffin minták narancssárgásabb színűek voltak.

Cukor hozzáadásának hatására a kenyerek L* és b* értékei csökkentek a cukrot nem tartalmazó kenyerekhez képest, tehát sötétebb és kevésbé sárgás színű a kérgük, emellett az azonos cukrot tartalmazó kenyerek esetén a cukor mennyiség megduplázása, a hosszabb sütési idő és a magasabb sütési hőmérséklet szintén a világosság és a sárgás színezet értékeinek csökkenését eredményezik. A szacharóz, a fruktóz, valamint a ribóz jelenléte csökkenti a kenyerek a* értékét, a cukor hozzáadása nélkül készült kenyérhez képest, tehát ezek a kenyerek kevésbé vöröses színűek (Shen és munkatársai, 2018).

Gundu és munkatársai (2012) szerint a kéreg megbarnulása akkor következik be, amikor a víz maximális mértékben párolog el a tészta felületéről, valamint, ha a hőmérséklet magasabb, mint 110 °C. A barnulás a Maillard-reakció eredménye, melynek termékei barna, nitrogénalapú polimerek és melanoidinok. Forma kenyerek esetén az L* értéke a sütési idő és hőmérséklet növekedésével párhuzamosan csökken, míg az a* és b* értékek nőnek. Sütés során a kenyér először világosbarna, majd elkészülésekor aranybarna lesz, túlsütéskor pedig sötétbarna színt ölt. Ebben a kísérletben a mintákat háztartási elektromos sütőben készítették.

3.5.3. Állományvizsgálat

A muffinokat általánosságban pórusos szerkezet, nagy térfogat és szivacsos textúra jellemzi, ennek a szerkezetnek a kialakításában jelentős szerepe van a szacharóznak és a zsíroknak, a szacharóz mindemellett hozzájárul a kéreg barnulásához is. A muffinok zsír-víz emulziók, a zsír képes nagy mennyiségű folyadékot megkötni emulzió formájában, így növeli az elkészült sütemény lágyságát is, emellett a keverés során a zsírgömbök megkötik a tésztában található levegőt, ezáltal levegőztetve a terméket, mindezek miatt a zsírtartalom csökkentése térfogatcsökkenést, valamint a bélzet keménységének növekedését okozza (O'Sullivan, 2017).

SMS TA-XTplus precíziós állománymérő műszer muffinok vizsgálatára történő alkalmazására is találunk példát a szakirodalomban, Martínez-Cervera és munkatársai (2012)

is ezt a módszert alkalmazták csökkentett cukortartalmú muffinok állományának vizsgálatára. Az általuk vizsgált paraméterek a keménység, a ruganyosság, a kohézió, a rághatóság és a rugalmasság voltak, az alkalmazott módszer pedig a kettős tömörítési teszt (TPA). A szacharóz helyettesítése szuklaróz-polidextróz (PD-SC) keverék segítségével befolyásolja a minták keménységét. Ha a helyettesítés mértéke nagyobb, mint 25%, akkor a keménységi értékek alacsonyabbak a kontrollhoz képest, míg több mint 50% helyettesítése esetén nincs jelentősebb különbség az értékekben. Emellett a cukor helyettesítés mértékének növelésével párhuzamosan csökken a rugalmasság, az összetartó képesség és a ruganyosság értéke, ami arra utal, hogy tömörebb bélzet keletkezett.

Egy másik példa az SMS állománymérő berendezés alkalmazására Lapčíková és munkatársai (2019) kutatása, melyben a szemcseméret hatását vizsgálták a kenyér szerkezetére. Az általuk meghatározott paraméterek szintén a keménység, a ruganyosság, a kohézió, a rugalmasság és a rághatóság voltak. Vizsgálatuk során arra a következtetésre jutottak, hogy a finom barna liszttel készült kenyerek esetében a kohézió, ruganyosság és rugalmasság alacsonyabb volt, ezzel szemben a kéreg pedig keményebb volt a többi mintához viszonyítva. Mindez a barna lisztben található korpaszemcsék jelenlétének tudható be, melyek csökkentik a tészta tágulási képességét.

Ezt a módszert alkalmazták Redd és munkatársai (2024) is kutatásuk során, melyben a mikrobiális transzglutamináz (mTG) hatását vizsgálták a rotációs kemencében sült gluténmentes kenyerekre. A mintáikat egy hengeres szonda segítségével két nyomási/dekompressziós ciklusnak vetették alá, amely során a keménységet, a kohéziót, a ruganyosságot és a rághatóságot vizsgálták. Kimutatták, hogy az idő előrehaladtával a kenyerek keménysége nő, a bélzet megroskadása következtében. Az mTG tartalmú barna rizs, fehér rizs, és quinoa lisztekből készült kenyerek jobban megőrizték a rugalmasságukat, azonban keménységük a kontrollhoz viszonyítva kisebb volt, míg gáztartó képességük növekedett.

Hasonló módon vizsgálták mintáikat He és munkatársai (2023) is, noha az ő esetükben más alapbeállításokat alkalmaztak, a kutatásuk célja pedig a tojáspor szerkezet befolyásoló hatásának jellemzése volt. Ugyancsak hasonló módszert alkalmaztak Jeong és munkatársai (2021) is az általuk készített kenyérminták textúraprofil-elemzésére (TPA). Vizsgálatukhoz az előzőekhez hasonlóan ők is hengeres szondát alkalmaztak, azonban az általuk vizsgált paraméterek némiképp eltérőek voltak, ugyanis ők a keménység, a ruganyosság, a kohézió és a rághatóság mellet a tapadásra voltak még kíváncsiak. Ezeket az értékeket az erő és az idő függvényében alkotott görbék alapján kapták meg.

Azonos előkészítésű kenyerek esetén a keménység a sütési idő és a hőmérséklet függvénye. Azonos sütési körülmények között a hosszabb sütési idő nagyobb keménységet eredményez. A víztartalom és a keménység között szintén összefüggés van, a vízveszteség növekedése, vagyis a víztartalom csökkenése a keménység növekedéséhez vezet (Bredariol és munkatársai, 2019).

Shen és munkatársai (2018), különböző cukrok használatának hatását vizsgálták kenyerek sütésére vonatkoztatva. Arra a megállapításra jutottak, hogy a hosszabb sütési idő növelte a kenyerek keménységét, a ribóz és a glükóz tartalmú kenyerek kivételével. Azonos sütési körülmények mellett azok a kenyerek, amelyek fruktóz vagy szacharóz hozzáadásával készülnek lényegesen puhábbak, mint a cukor nélküliek, míg a ribózzal készült kenyerek keménység értéke a legmagasabb, emellett kijelenthetjük még, hogy a magasabb sütési hőmérséklet, a cukor nélkül, valamint a malátacukorral vagy glükózzal készült kenyerek esetén csökkentette a keménységet, míg a más típusú cukrot tartalmazók esetén növelte azt.

Kadir és munkatársai (2022) a szójaolaj-alapú diaszilglicerin-sztearin-zsírsavanyító keverékek felhasználásával készült kekszekkel foglalkozó vizsgálatukban szintén foglalkoztak az eltérő sütési hőmérsékletek állományt befolyásoló tulajdonságaival. A vizsgálathoz a kekszeket egy Venticell típusú sütőben készítették. Munkájuk során azt találták, hogy a sütési hőmérséklet növekedésével nőtt a kekszek keménysége, rághatósága, valamint törhetősége is, azonban a kohézió nem.

Pszeudocereáliákból készült liszt felhasználásával készített termékek esetén azt tapasztalhatjuk, hogy az amarántliszttel dúsított termékek keménység értéke magasabb, mint a kontrollé vagy a hajdinaliszttel dúsítotté, azonban fűszerek hozzáadása nem befolyásolta szignifikánsan a keménységet (Szedljak és Kujbus, 2018).

Forma kenyerek készítésekor a keménység értéke növekszik a hőmérséklet és a sütési idő növelésével. A keménység és a kéregvastagság között összefüggés van, a sütés során a kéreg vastagság folyamatosan nő a víz elpárolgásával párhuzamosan (Gundu és munkatársai, 2012).

3.5.4. Porozitás

Kenyér porozitásának meghatározására alkalmas módszer lehet, a termék valódi és látszólagos sűrűségeinek meghatározása, majd ezen értékek alapján a porozitás számítása. A kenyérben fellelhető légbuborékokat pórusnak nevezzük, ez az összekapcsolt üregszerkezet az erjedés során jön létre, a porozitás mértéke jelentős szerepet játszik az elkészült termék bélzetének, textúrájának, valamint megjelenésének alakulásában. Ha növeljük a korpatartalmat a kenyérben, akkor a bélzet porozitása csökkenni fog, hasonló tendenciát figyelhetünk meg a

kenyér fajlagos térfogatának esetében is, azonban a tészta porozitása a búzakorpa mennyiségének növelése hatására a bélzettel ellentétben nem csökkenést, hanem növekedést mutat (Packkia-Doss és munkatársai, 2019).

Schott és munkatársai (2023) munkássága alapján kijelenthetjük azt is, hogy a porozitás, valamint a helyi falvastagság meghatározható még képfeldolgozásos módszerrel, binarizált képek segítségével is. Kutatásuk során a mérés az idő függvényében történt, megállapították, hogy többek között a porozitás a vizsgált kenyerek esetében az idő múlásával nő, míg az átlagos helyi sejtfalvastagság csökken, emellett kijelentették, hogy egyértelmű összefüggés van a porozitás és az átlagos pórustérfogat, valamint az átlagos koordinációs szám és az átlagos helyi sejtfalvastagság között.

Rahimi és munkatársai (2020) szintén képfeldolgozás segítségével határozták meg a pékáruk porozitási tulajdonságait. Az általuk elemzett képek kétdimenziósak voltak, a porozitást a képeken található lyukak és a kép teljes területének arányaként számították ki; a pórusméret-eloszlás is egy lényeges tulajdonság, mely azt mutatja meg, hogy milyen gyakorisággal jelennek meg eltérő méretű pórusok az adott élelmiszer szerkezetében.

Szintén képfeldolgozást alkalmaztak Amani és munkatársai (2021) pogácsa mintáik vizsgálatához. Első lépésként a mintákat félbe vágták, majd a keresztmetszetekről rögzített távolságból képeket készítettek, fehér háttér előtt, D65-ös megvilágítás mellett. A képfeldolgozást MATLAB szoftver segítségével végezték, mely előtt egy előfeldolgozást is végrehajtottak a képek minőségének javítása érdekében. A képfeldolgozás segítségével sikeresen nyertek adatokat a minta pórusszerkezetét illetően. Megfigyelték, hogy a bélzet szerkezete érzékelhetően eltérő a különböző hőmérsékletek és sütési idők alkalmazása esetén. A pórusarányban felfedezett különbségeket többek között annak tulajdonították, hogy az élesztőaktivitás megnövekedett, a magasabb hőmérsékletnek köszönhetően, ami nagyobb CO_2 termelődéshez vezetett.

A fentebb említett módszereken felül a porozitás, ami függ a tészta összetételétől és a sütés folyamata során elpárolgott víz mennyiségétől is, számítható még a mintában sütés után jelen levő üregek térfogatának és a minta teljes térfogatának hányadosaként is (Rahimi és Ngadi, 2014).

Árpakenyér porozitását befolyásolja a tojáspor alkalmazása a tészta készítéshez. Az ilyen kenyerek folyamatos és egyenletes porozitással rendelkeznek, ami annak köszönhető, hogy a tojáspor hatására több diszulfidkötés keletkezik, ami egységesebbé és stabilabbá teszi a hálózat szerkezetet a kenyérben. Emellett megfigyelhető még, hogy a tojássárgája nagyobb mértékben javítja a bélzet szerkezetét, mint a tojásfehérje vagy a teljes tojás. Ezt az okozza,

hogy a tojássárgájával készült árpakenyerekben nagyobb az α-hélixek aránya, valamint, hogy a sárgájában találhatóak alacsony sűrűségű lipoproteinek, melyek felületaktív anyagok, így elősegítik a tésztában a pórusok stabilizálódását (He és munkatársai, 2023).

A fentiekből jól látható a téma jelentősége, valamint az is, hogy hány különböző szempontból lehet vizsgálni a kérdést. Az egyszerű fehér kenyértől kezdve több különböző összetételű péktermék esetében vizsgálták már a sütés folyamatát, amelyek minden esetben új és fontos információkkal szolgáltak a korábbiak megerősítése mellett. Az is jól látható, hogy a vizsgálatok többsége az összetétel hatását helyezi a kutatás középpontjába és inkább érintőlegesen foglalkozik a sütőben való elhelyezkedés hatásával. Mindezek miatt lényegesnek tartottam, hogy a jelen kutatás során a minták pozíciója a sütés során kerüljön fókuszba a korábbi kutatásokkal ellentétben.

4. Anyagok és módszerek

A kísérletben a mintaelőkészítést, a színméréseket, porozitásmérést és az állományvizsgálatot az Élelmiszeripari Méréstechnika és Automatizálás Tanszéken végeztem.

4.1. Felhasznált anyagok

A kísérlet során a sima és almás muffinokhoz Lidl sajátmárkás Belbäcke búzafinomlisztet (BL55), porcukrot, Lidl sajátmárkás VitaD'or 70% zsírtartalmú sütőmargarint, 2,8%-os ESL tejet (Pilos, Lidl), tojást, sütőport (Belbäcke, Lidl), vaniliás cukrot (Belbäcke, Lidl), őrölt fahéjat (Lucullus), őrölt szegfűszeget (Lucullus) és sót használtam. Mindezek mellett az almás muffinok kockára vágott almát is tartalmaztak. Az ***1. táblázat***ban látható a muffinok receptúrája 27 db muffin elkészítéséhez:

1. táblázat *Felhasznált alapanyag mennyiségek a muffinok elkészítéséhez (Forrás: saját készítés)*

	sima muffin	almás muffin
BL 55 búzafinomliszt	500 g	500 g
porcukor	300 g	300 g
sütőmargarin	250 g	250 g
tej	2 dl	2 dl
tojás	2 db	2 db
sütőpor	30 g	30 g
vaníliás cukor	20g	20 g
őrölt fahéj	4 g	4 g
őrölt szegfűszeg	1 g	1 g
só	1 g	1 g
alma	-	400 g

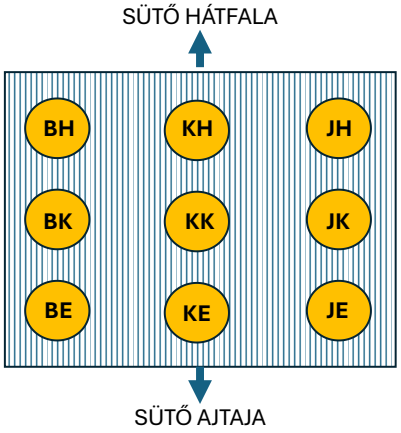
A szárítószekrényt (Venticell, MMM Medcenter Einrichtungen GmbH, München, Németország) 160°C-ra történő felfűtését követően, a légkeverést 50%-ra állítottam. A margarint a porcukorral és vaníliás cukorral habosra kevertem Tefal QuickMix HT310538 300W teljesítményű kézi keverővel (Tefal, Rumilly, Franciaország), majd hozzáadtam a tojásokat és a tejet, és simára kevertem. A lisztet átszitáltam, majd hozzáadtam a fűszereket, sütőport és a sót, és homogenizáltam. A száraz hozzávalókat fokozatosan hozzáadagolva a folyékony keverékhez összeállítottam a muffin tésztáját. Az almás muffinok elkészítésekor a fentebb leírt módon elkészítettem a tésztát, majd 400 g meghámozott és 0,5 cm méretű kockákra vágott almát beleforgattam a tésztába.

A 27 db szilikonos muffin formába elosztottam a tésztát, majd a talpukat kissé az asztallaphoz ütögetve a levegőbuborékokat eltávolítottam a tésztából, ezt követően a kísérleti tervnek megfelelően elrendeztem őket a sütőben három szinten, a ***2. ábra*** szerinti módon.

2. ábra *A muffinok elrendezése (zöld - F (felső), lila - K (középső), sárga - A (alsó)) (Forrás: saját fotó)*

Mindhárom szinten az alábbi mintakódolást alkalmaztam (***3. ábra***):

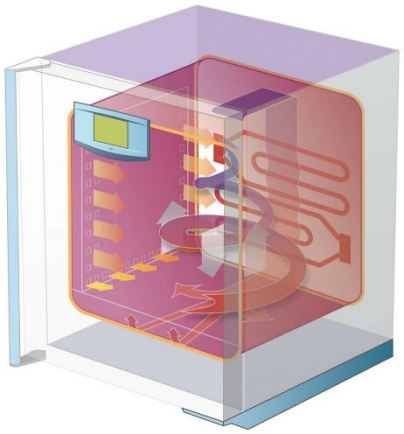
3. ábra *Szintenkénti sütési elrendezés a szárítószekrényben (Forrás: saját ábra)*



A ***3. ábrá***n látható kódokat egészítettem ki a sima (S) és almás (A) muffin betűjelével, a sütési szintekkel, felső (F), középső (K) és alsó (A), valamint a párhuzamos mérések számával. Az adott minták esetén a kódolásnál az első helyre a muffin típusának betűjele került, másodikra a párhuzamos száma, majd a tálca jelzése, végül ezt követte a tálcán belüli pozíció betűkódja. Ennek értelmében például az S2_A_BH jelzésű minta egy sima muffin a második párhuzamos mérésből, amelyik az alsó tálca bal hátsó sarkában került elhelyezésre a sütés során.

Az ***4. ábrán*** a Venticell szárítószekrény sütési mechanizmusa látható. A készülék szellőzőrendszerének köszönhetően a kamrában a levegő spirálisan szellőztet. Ez homogén hőmérséklet-profilt és rövid melegítési időket eredményez a belső légtérben. Az üzemgazdaságosságot a laboratóriumi fűtés nagyobb sebessége és pontossága biztosítja. Különösen alkalmas nagyon nedves árukhoz.

4. ábra *Venticell szárítószekrény működési mechanizmusa (Internet 4)*



A kísérlet során 3-3 sima és almás muffin sütési sorozattal vizsgáltam a különböző mérési módszerek paramétereinek segítségével a szárítószekrény egyenletes működését.

4.2. Mérési módszerek

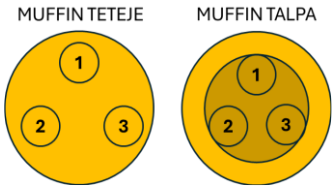
4.2.1. Hőmérséklet

A muffinokat a 160°C hőmérsékletre előmelegített szárítószekrénybe helyezve 30 percen át sütöttem, hogy majd az idő elteltével kivéve őket, szobahőmérsékletűre hűljenek. A kivételt követően azonnal megmértem a muffinok felületi hőmérsékletét egy Solight infravörös hőmérőpisztollyal (Solight Holding s.r.o., Hradec Králové, Csehország) 0,1 °C pontossággal. A kivételt követően 10 percig formában pihentettem a mintákat, ezt követően a formákból kiemeltem a muffinokat és sütőrácsra téve hűlni hagytam. Egy óra pihentetési időt követően ellenőriztem, hogy szobahőmérsékletűre hűltek-e a sütemények.

4.2.2. Szín

A színmérést ColorLite sph850 spektrométer (ColorLite GmbH, Katlenburg-Lindau, Németország) készülékkel végeztem. A színmérés során a CIE L* a* b* színrendszer paramétereit (L* - világossági tényezőt, a* - vörös-zöld színezetre jellemző paramétert, b* - sárga-kék színezetre jellemző paramétert) határoztam meg 25,5±1,0 °C hőmérsékleten a muffinok tetején és talpán három párhuzamos méréssel. A mérési elrendezést az ***5. ábra*** szemlélteti.

5. ábra *A színmérés mérési elrendezése (Forrás: saját ábra)*



4.2.3. TPA teszt

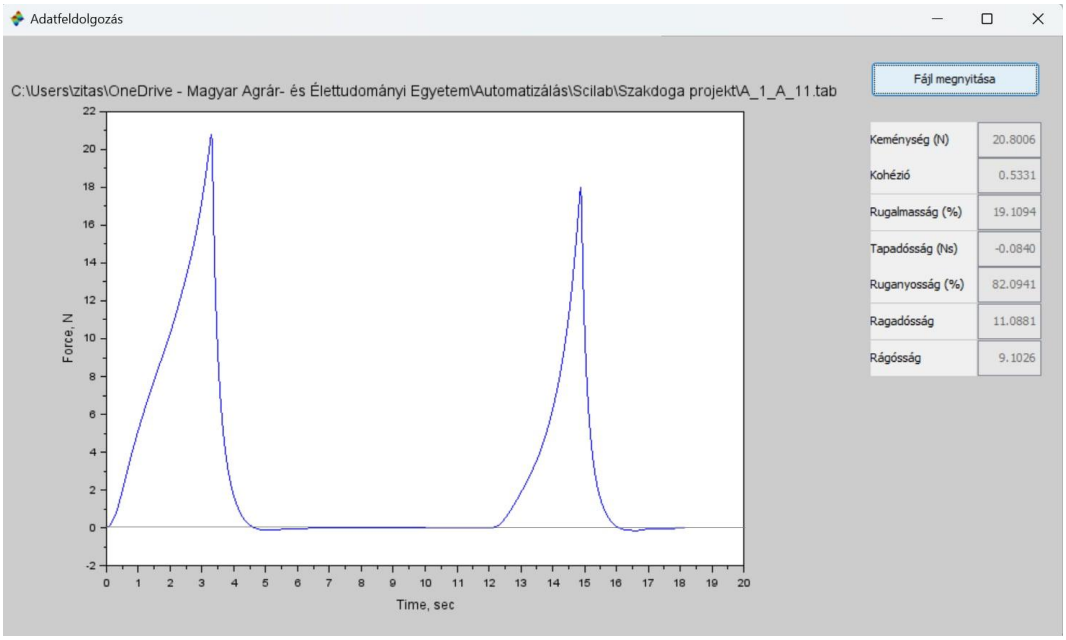
Az SMS állománymérés során TA.XTplus precíziós penetrométer (Stable Micros Systems, Surrey, Anglia) segítségével TPA tesztet, másnéven két harapás tesztet végeztem, melynek során a levágott tetejű muffinok bélzetét vizsgáltam A/BE-d35 típusú akrilkoronggal. A muffinok magasságának 50%-ig nyomtam meg a bélzetet 5 mm/s sebességgel terhelve, ahol a két harapás között eltelt idő 5 s volt. A TPA teszt erő – idő görbéjéből meghatározható hét reológiai tulajdonság közül a keménységet (N), a tapadósságot (Ns), összetartó képességet (-) azaz kohéziót és a rugalmasságot (%) használtam fel a kiértékelés során, ezen paramétereknek a meghatározását a 2.4.2 pontban az ***1. ábra*** szemlélteti. A mérési beállításokat Tóth és munkatársainak (2022) cikke alapján választottam meg.

A fentebb is említett hét reológiai tulajdonság meghatározásához egy saját készítésű Scilab kódot használtam, mely az adott mérés erő és idő adatait beolvasva kirajzolja a hozzá tartozó görbét, valamint kiszámítja a hozzá tartozó hét reológiai paramétert is, ahogyan azt a ***6. ábra*** is szemlélteti. A Scilab kód scriptje a mellékletben található.

A kód röviden az alábbi lépéseket hajtja végre:

- Programablak létrehozása (ezen fognak megjelenni a később létrehozott elemek)
- Felhasználói felület létrehozása (a soron következő függvények ennek a hátterét adják)
- Fájl megnyitása és a kiválasztott adatokhoz tartozó görbe felrajzolása
- Görbe kezdőértékeinek meghatározása
- A paraméterek számításához szükséges osztópontok meghatározása
- A két csúcs maximumának kiszámítása
- A görbe alatti, az osztópontok által határolt területek kiszámítása
- A paraméterek kiszámítása a hozzájuk tartozó képletek alapján és megjelenítésük a programablak megfelelő részén

6. ábra *A hét reológiai paraméter meghatározására készített kód program ablaka a 0 N erő jelölésével (Forrás: saját ábra)*



4.2.4. Porozitás

A muffinokat a porozitásvizsgálathoz sötétkék karton hátteret alkalmazva fotóztam le. A fotózás előtt a muffinok tetejét a sütemények talpával párhuzamosan a Stable Micro Systems ikerkéses mintaelőkészítő szeletelő (Stable Micro Systems, Surreay, Anglia) segítségével eltávolítottam. A muffin bélzetéről készített fotók kiértékelése során először a kék háttérből kivágtam a muffinokat, majd az így kapott képeken futtattam le egy Scilab scriptet, amivel 3 paramétert határoztam meg:

- SD – (standard deviation, azaz szórás)
- CV – (coefficient of variation, azaz variációs koefficiens, a szórást az átlaggal elosztva jutunk ehhez az értékhez)
- VAR – (variance, azaz szórásnégyzet)

A három paraméter közül a CV értékei mutatták a legjobb eredményt, ezért a kiértékelésnél ezt a paramétert használtam fel.

4.2.5. Statisztikai elemzés

A statisztikai elemzés első lépéseként a kapott mérési eredményeket bevittem Excelbe, majd átlagot és szórást számoltam az adott mérési pontokhoz, az ÁTLAG és a SZÓR.M függvények használatával. Ezt követően a színmérés L*, a*, és b* átlagértékeiről készítettem a muffin típusa és a mérés helye (tető vagy talp) szerint oszlop diagramokat, hibasávként

feltűntetve az adott pontokhoz tartozó szórás értékeit is. Valamint készítettem olyan pontdiagramokat, amelyek a párhuzamos színmérések minden adatát tartalmazzák.

Az Excelben kiszámított átlagértékeket ezután kategóriákra bontva (hőmérséklet, L* érték, keménység stb.) behívtam a PAST (Paleontological Statistics) szoftverébe. Majd szintenként az adatokat kijelölve a Geometry menüpont harmadik pontjában (Points with z values (2D+z)) kiválasztottam a Gridding opciót, ahol az Inverse distance weighting (IDW) alkalmazásával létrehoztam egy a mért értékekhez tartozó hőtérképet. Az alapbeállításokat megfelelőnek találtam arra, hogy kellő módon szemléltessék a mérés eredményeit, így azokon nem változtattam a grafikon elkészítésekor. Kivéve a tapadósság esetében, ahol az eredeti színbeállítások inverzét használtam, így a legalacsonyabb számértékek kerültek kiemelésre, mely azért lényeges, mert ezekben az esetekben a legnagyobb az adhéziós terület. Az adott pozíciókhoz tartozó koordinátákat azonban a (4) és (5) képletek alapján átalakítottam, a keletkező grafikon 90°-kal történő óramutató járásával megegyező irányú elforgatásához, annak érdekében, hogy a grafikon úgy ábrázolja az egyes szinteket mintha szemben állnánk a sütővel.

Az X koordináta számítása 90°-os, óramutató járásával megegyező elforgatáshoz

$$X' = Y \qquad (4)$$

Az Y koordináta számítása 90°-os, óramutató járásával megegyező elforgatáshoz

$$Y' = -X \qquad (5)$$

A fenti változtatásoknak köszönhetően a sorok számozása is negatív előjellel jelenik meg a hőtérkép típusú ábrákon (-1,00 – hátsó sor; -2,00 – középső sor és -3,00 – elől lévő sor). Az oszlopok pozitív előjellel szerepelnek, így az 1,00 – a bal oldali oszlopot; 2,00 – a középső oszlopot, míg a 3,00 – a jobb oldali oszlopot képviseli. Végül a grafikai beállításokon állítottam a minél informatívabb megjelenítés érdekében. Az így létrehozott grafikonokat elmentettem a későbbi elemzéshez.

Az almás és sima muffinok esetében az egyes tálcákon a pozíciók közötti szignifikáns különbség elemzését ANOVA teszttel, majd további post-hoc vizsgálattal (Tukey, Gamesw-Howell teszt), IBM SPSS 29.0 statisztikai szoftverrel végeztem.

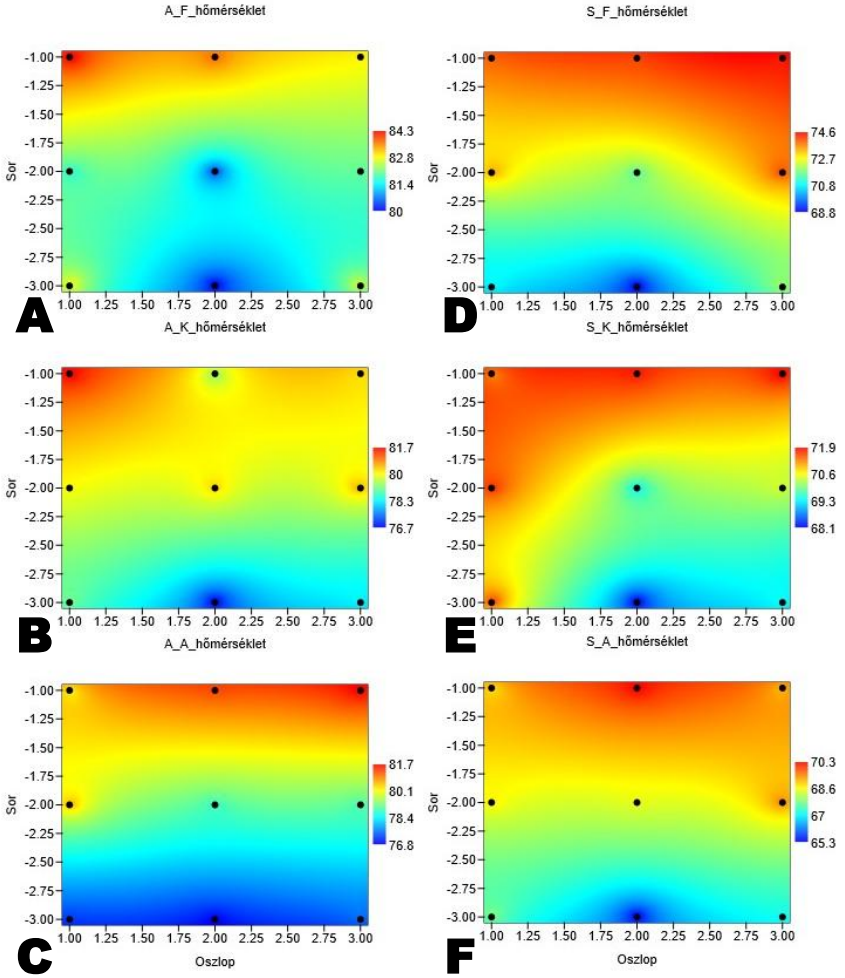
5. Eredmények és értékelésük

Az eredmények kiértékelése során az egyes mért és számított paraméterek esetében végeztem ANOVA elemzést, azonban csak a színmérés esetében találtam szignifikáns különbséget a pozícionálás alapján. Hely hiányában ezért csak azokat az ANOVA eredményeket mutatom be a továbbiakban, amelyeknél a pozíciók között mutatkozott szignifikáns eltérés.

5.1. Hőmérséklet

A hőmérséklet esetén minden tálcaszint (felső (F), középső (K) és alsó (A)) és muffin típus (sima, almás) esetében megfigyelhető, hogy az ajtó felőli minták többnyire hűvösebbek, míg a sütő hátfala mentén többségében magasabb hőmérsékleteket tapasztaltam. Kijelenthető továbbá, hogy az adott pozíciók átlagos értékeinek tekintetében minden esetben a KE minta, tehát a sütő ajtó előtt középen elhelyezkedő volt a leghűvösebb, ahogyan azt a ***7. ábra*** is szemlélteti.

7. ábra *Az almás és sima muffinok felső (A, D), középső(B, E) és alsó tálcáinak (C, F) átlagos hőmérsékleteloszlása Celsius fokban kifejezve (Forrás: saját ábra)*



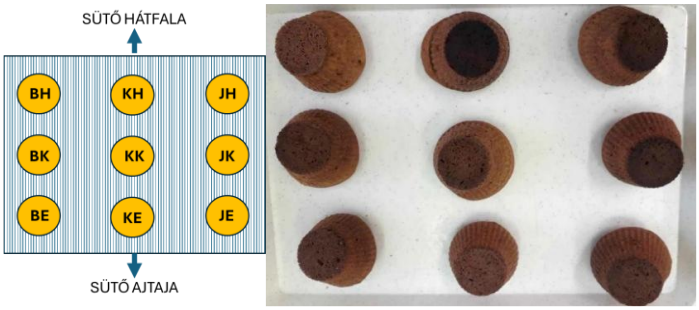
Az almás muffinok esetében (***7/A-B-C ábrák***) magasabb hőmérsékletet tapasztaltam, ez a tésztában lévő gyümölcsnek köszönhető. A tálcaszinteket összehasonlítva látszik, hogy a felső tálcán volt tapasztalható a legmagasabb hőmérséklet almás és sima muffinnál is.

5.2. Szín

Egymás mellett vizsgálva az CIE L*a*b* szintér elemeit, a muffinok tetejének tekintetében nem figyelhető meg szignifikáns, elkülöníthető csoportosulás. Egy-két kiugró mérési eredménytől eltekintve az értékek is megközelítőleg azonos tartományban mozognak, mind a sima, mind az almás muffinok esetében.

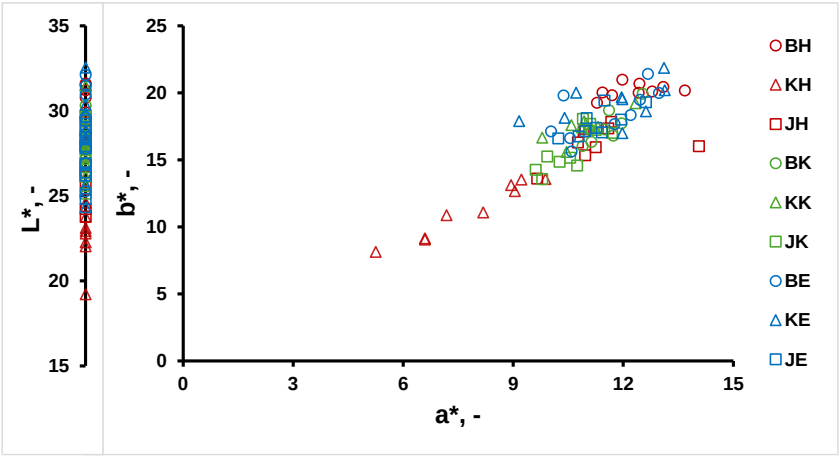
A muffinok talpát vizsgálva azonban már szabad szemmel is meg lehetett figyelni különbségeket. Az alsó tálca esetében több párhuzamos mérésnél is megégett a muffin talpa egyes pozíciókon, ahogyan azt a ***8. ábra*** is szemlélteti.

8. ábra *Példa pozíciómagyarázattal a muffinok talpának megégésére az alsó tálcán (Forrás: saját fotó)*



Az L* a* b* értékeket egymás mellett vizsgálva a muffinok talpának tekintetében, a felső és középső tálca értékeinek eloszlása a muffinok tetejéhez hasonlóan alakult, azonban az alsó tálca tekintetében már lehet egy bizonyos csoportosulást megfigyelni.

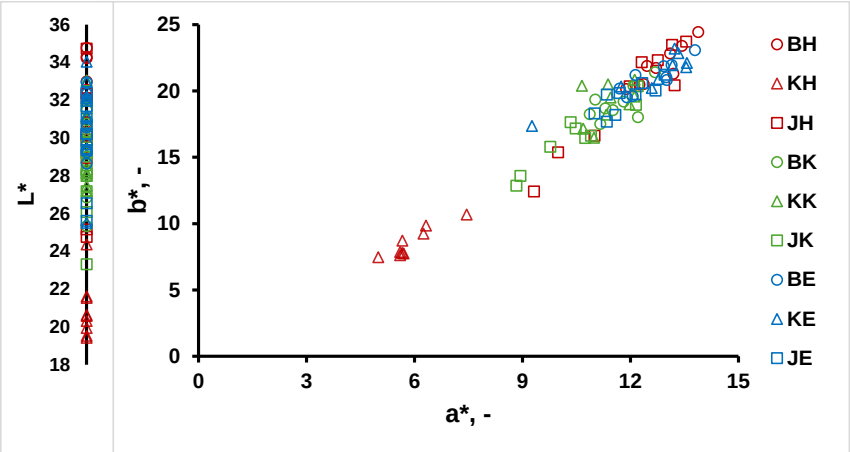
9. ábra *Az **almás** muffinok **talp**ának L* a* b* értékei az **alsó** tálca esetében (Forrás: saját ábra)*



Az almás és a sima muffinok esetében egyaránt jól megfigyelhető, hogy a KH pozícióra helyezett muffinok minden párhuzamos mérés esetén a többi pontnál kisebb L*a*b* értékeket mutattak, ahogyan az a ***9. és 10. ábrákon*** is látható. Az ábrák a 3 párhuzamos mérés összes eredményét tartalmazzák.

Az almás muffin esetében (***9. ábra***) látható, hogy az L* a* b* értékek a KH pozícióban szinte mindegyik esetben elkülönültek a többi pozíciótól. Ez az elkülönülés a sima muffinok esetében teljesen megvalósult az a* és b* értékek alapján (***10. ábra***).

10. ábra *A* ***sima*** *muffinok* ***talp****ának L* a* b* értékei az* ***alsó*** *tálca esetében (Forrás: saját ábra)*



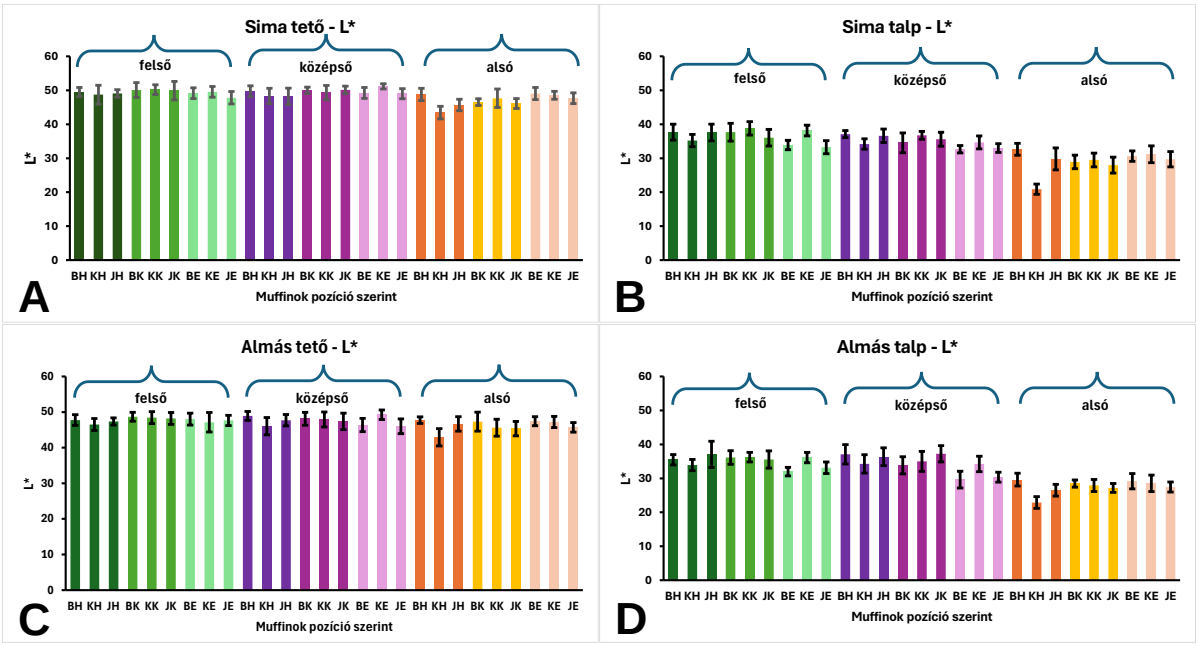
A következőkben szeretném bemutatni a színmérés eredményeit paraméterenként.

5.2.1. Világossági tényező (L*)

A muffinok világossági tényező értékeit a ***11. ábra*** szemlélteti. A ***11/A*** és ***11/B*** oszlopdiagramok mutatják, hogy a sima muffinok talpának esetében alacsonyabbak az értékek minden tálcaszintnél. A szintek közül az alsó tálca talp értékei voltak a legalacsonyabbak, amit a ***2. táblázatban*** látható ANOVA teszt is megerősített, miszerint szignifikánsan eltérnek a KH pontban sült muffinok a többi pozíciótól. A másik két tálcaszintnél nem volt szignifikáns különbség a pozíciókban. A BH pozíció szignifikánsan elkülönült a BK és JK pozícióktól is, ahogy a JK a KE pozíciótól is.

Az almás muffinok esetében a ***11/C és 11/D ábrákon*** látható, hogy a talp L* értékei alacsonyabbak a muffinok tetején mért értékekhez képest. A tálcaszinteket összehasonlítva, a legalacsonyabbak itt is az alsó szint értékei. A sima muffinhoz hasonlóan itt is az alsó tálca KH mintái mutattak szignifikáns különbséget, a középső és elülső sor mintáihoz képest, amit a 3. táblázat ANOVA eredménye is megerősített. Emellett a hátsó sor BH, KK és JK pozíciói is szignifikánsan elkülönültek egymástól.

11. ábra *A sima és almás muffinok tetejének és talpának átlagos világossági tényező (L*) értékei pozíciók szerint a szórás feltűntetésével (Forrás: saját ábra)*



2. táblázat *A varianciaanalízis eredménye* ***sima*** *muffin talpának világossági tényezőjére (L*) az alsó tálcán (p<0,05) (Forrás: saját táblázat)*

	BH	KH	JH	BK	KK	JK	BE	KE	JE
BH									
KH	+								
JH	-	+							
BK	+	+	-						
KK	-	+	-	-					
JK	+	+	-	-	-				
BE	-	+	-	-	-	-			
KE	-	+	-	-	-	+	-		
JE	-	+	-	-	-	-	-	-	

3. táblázat *A varianciaanalízis eredménye* ***almás*** *muffin talpának világossági tényezőjére (L*) az alsó tálcán (p<0,05) (Forrás: saját táblázat)*

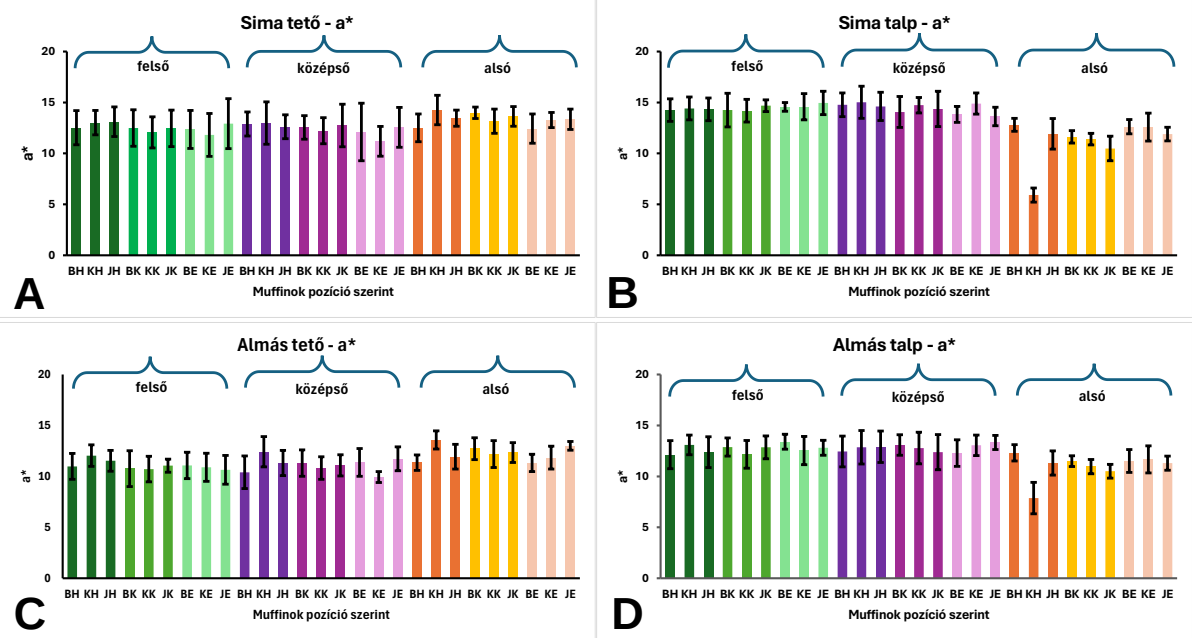
	BH	KH	JH	BK	KK	JK	BE	KE	JE
BH									
KH	+								
JH	+	+							
BK	-	+	-						
KK	-	+	-	-					
JK	-	+	-	-	-				
BE	-	+	-	-	-	-			
KE	-	+	-	-	-	-	-		
JE	-	+	-	-	-	-	-	-	

5.2.2. Vörös – zöld színezeti jellemző (a*)

A ***12. A-D ábrák*** oszlopdiagramjaiból kiderül, hogy az a* értékek a felső és középső tálcaszinten hasonló értékeket mutattak az egyes pozíciókban, azonban látható, hogy muffinok tetején mért értékek sima muffin (***12/A***) esetében némileg nagyobbak, mint az almásnál (***12/C***). Mindkét muffinnál az alsó tálca értékei is hasonlóan alakultak. A muffinok talpán mért a* értékek esetében nagyobb különbség mutatkozik. Egyrészt a sima muffinok a* értékei (***12/B***) a talpon mérve is magasabbak voltak mindhárom szinten az almáshoz képest (***12/D***). Másrészt

az egyes pozíciókban mért ismétlések szórása kisebb, mint a tető színei esetében, ráadásul az alsó tálcán megjelenik a pozícionálás hatása is, amiből kiugrik a KH hely, az itt mért eredmény szignifikánsan eltért a tálca többi tagjától. Ezt az eredményt az ANOVA elemzés is megerősítette, amit a ***4. és 5. táblázat*** szemléltet.

12. ábra *A sima és almás muffinok tetejének és talpának átlagos vörös-zöld színezet (a*) értékei pozíciók szerint a szórás feltűntetésével (Forrás: saját ábra)*



4. táblázat *A varianciaanalízis eredménye* ***sima*** *muffin talpának vörös-zöld színezeti jellemzőjére (a*) az alsó tálcán (p<0,05) (Forrás: saját táblázat)*

	BH	KH	JH	BK	KK	JK	BE	KE	JE
BH									
KH	+								
JH	-	+							
BK	+	+	-						
KK	+	+	-	-					
JK	+	+	-	-	-				
BE	-	+	-	-	+	+			
KE	-	+	-	-	-	-	-		
JE	-	+	-	-	-	-	-	-	

5. táblázat *A varianciaanalízis eredménye* ***almás*** *muffin talpának vörös-zöld színezeti jellemzőjére (a*) az alsó tálcán (p<0,05) (Forrás: saját táblázat)*

	BH	KH	JH	BK	KK	JK	BE	KE	JE
BH									
KH	+								
JH	-	+							
BK	-	+	-						
KK	-	+	-	-					
JK	+	+	-	-	-				
BE	-	+	-	-	-	-			
KE	-	+	-	-	-	-	-		
JE	-	+	-	-	-	-	-	-	

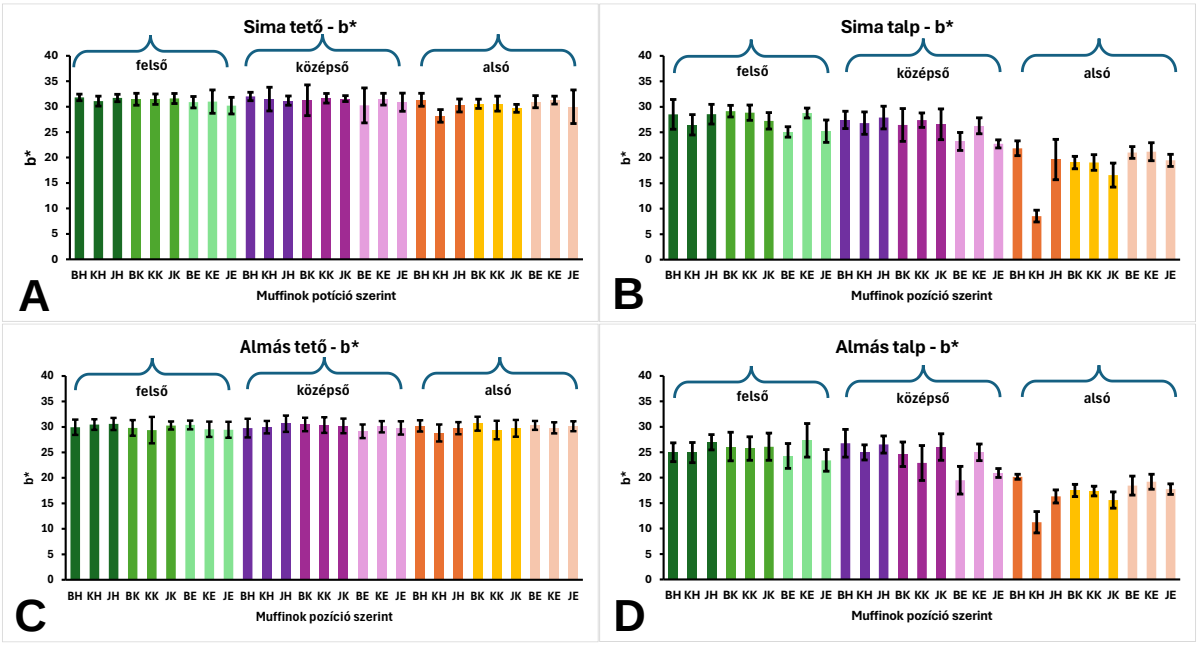
A ***4. táblázat*** alapján látszik a KH pozíció szignifikáns elkülönülése a többitől, emellett azonban a BH hely is szignifikánsan eltért a középső sor BK, KK és JK helyeitől is, valamint a KK és JK a BE helytől. Az almás muffin esetében az utóbbi eltérést nem látni (***5. táblázat***). Az

a* értékek alakulását összevetve a ***11/B. és 11/D ábra*** oszlopdiagramjaival, az ott látható alsó tálcán mért alacsony L* értékek igazolják a muffinok talpának megégését, leginkább a KH pozícióban.

5.2.3. Sárga – kék színezeti jellemző (b*)

A kék-sárga színezeti jellemző értékeinek alakulását a ***13/A-D ábra*** oszlopdiagramjai mutatják be. A muffinok tetején mért értékeket megvizsgálva nem tapaszaltam nagy különbséget a sima és almás muffinok között egyik tálcaszinten sem (***13/A és C ábrák***). Ezzel szemben a tető értékeihez képest a talp értékei alacsonyabbak voltak, és a tálcák között is némi különbség látszik. Felülről lefelé haladva a szintek között csökkenés tapasztalható, és az alsó tálca legalacsonyabb értékei egyúttal a legnagyobb különbséget mutatják a pozíciók szerint (***13/B és D ábrák***). Az alsó tálcán tapasztalt variabilitás a tészta szerkezetének alakulására is utalhat, illetve az almás muffinban található almakockák is hatással lehettek az eltérő hőeloszlásra és így a szín alakulására, ami a b* esetében tapasztalt legnagyobb mértékű szignifikáns különbségeket is okozhatta. A szignifikáns különbségeket a sima és almás muffinok talpa esetében a ***6. és 7. táblázat*** mutatja be.

13. ábra *A sima és almás muffinok tetejének és talpának átlagos sárga-kék színezet (b*) értékei pozíciók szerint a szórás feltűntetésével (Forrás: saját ábra)*



A szigninfikáns különbséget magyarázza, hogy itt is a KH pozíció átlagértéke kiugróan alacsony a sima és almás muffinok esetében egyaránt. A sima muffinhoz képest az almás esetében (***7. táblázat***) több pozíció is eltér egymástól, így például a BH helyen sült muffinok a

b* értéke alapján csak a BE és KE helyektől nem tért el. Emellett látszik, hogy a jobb oldali középső (JK) hely eltér az elülső sor mintáitól (BE, KE és JE) is.

6. táblázat *A varianciaanalízis eredménye* ***sima*** *muffin talpának sárga-kék színezeti jellemzőjére (b*) az alsó tálcán (p<0,05) (Forrás: saját táblázat)*

	BH	KH	JH	BK	KK	JK	BE	KE	JE
BH									
KH	+								
JH	-	+							
BK	-	+	-						
KK	-	+	-	-					
JK	+	+	+	-	-				
BE	-	+	-	-	-	+			
KE	-	+	-	-	-	+	-		
JE	-	+	-	-	-	-	-	-	

7. táblázat *A varianciaanalízis eredménye* ***almás*** *muffin talpának sárga-kék színezeti jellemzőjére (b*) az alsó tálcán (p<0,05) (Forrás: saját táblázat)*

	BH	KH	JH	BK	KK	JK	BE	KE	JE
BH									
KH	+								
JH	+	+							
BK	+	+	-						
KK	+	+	-	-					
JK	+	+	-	-	-				
BE	-	+	+	-	-	+			
KE	-	+	+	-	-	+	-		
JE	+	+	-	-	-	+	-	-	

A színmérés eredményeiről összességében elmondható, hogy a talpon mért L, a* és b* értékekben az alsó tálca esetében mutatkozik szignifikáns eltérés. Minden esetben a KH pozíció tér el, ám néhány esetben sorok között is tapasztalható szignifikáns különbség.*

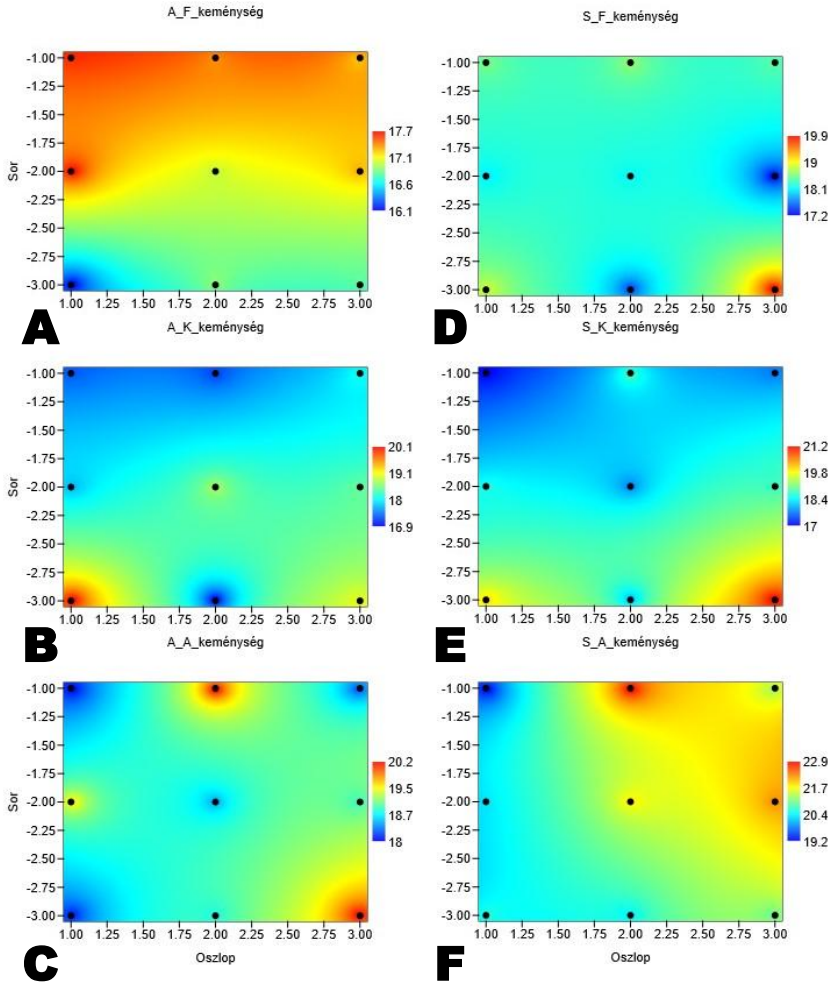
5.3. Állományvizsgálat

Az állományvizsgálat során az elvégzett TPA teszt kiértékelését követően a keménység, kohézió, tapadósság és ruganyosság paramétereket használtam fel, hogy összehasonlítsam a különböző szinteken és pozíciókban sütött sima és almás muffinokat. A kapott eredményeket összehasonlítva szignifikáns különbség nem volt, de eltérések megfigyelhetőek a tálcaszintek között és a pozíciókban egyaránt.

5.3.1. Keménység

Mind a sima, mind az almás muffinok esetében megfigyelhető a ***14. ábrán***, hogy a felső szinten a legalacsonyabb a maximális keménység érték (***14/A és 14/D ábra***), és lefelé haladva, az alsó tálcán (***14/C és 14/F ábra***) a legmagasabb. A középső tálcán mért értékek közelebb álnak az alsó szint értékeihez (***14/B és 14/E ábra***), mint a felső szintéhez. Az ábra bal oszlopában lévő almás és jobb oldali sima muffin eredmények között a két fajta sütemény esetében az azonos szinteket összevetve nem mutatkozik nagy eltérés, ám a sima muffin értékei magasabbaknak bizonyultak.

14. ábra *Az almás és sima muffinok felső (A, D), középső (B, E) és alsó (C, F) szinten sütött átlagos keménység eloszlása newtonban kifejezve (Forrás: saját ábra)*



Ha az egyes tálcákon lévő pozíciókat nézzük, akkor az alsó tálca esetében mutatkozik ismét a színmérés paramétereinél már látott KH pont, ahol a legmagasabb a keménység értéke. A sima muffin esetében (***14/F***) inkább egy sarkos eltérés látszik, ahol a KH, JH és JK pontok mutatnak nagyobb keménységet. A középső tálcán (***14/ B és 14/E***) a hátsó és középső sorban a legkisebb a keménysége a muffinoknak.

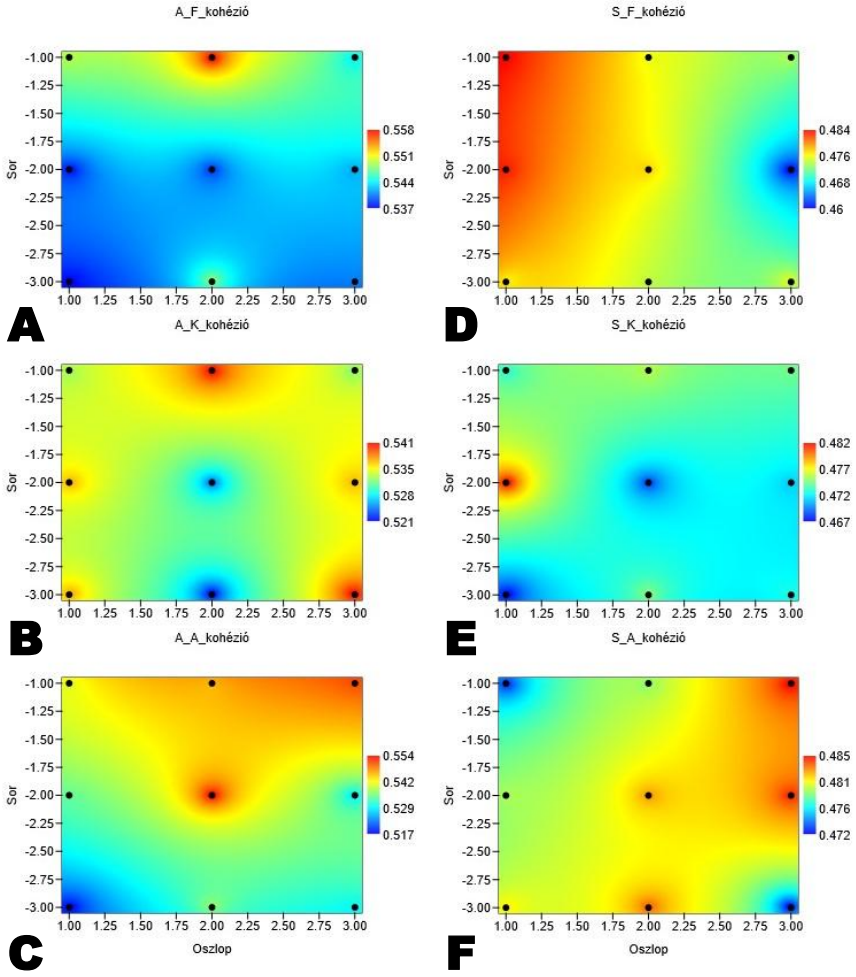
5.3.2. Kohézió

A kohézió esetében jól látható különbség van az almás és a sima muffinok értékei között (***15. ábra***). Az almás muffinok esetében 0,5167 és 0,5593 között mozog az átlagértékek (***15/A-B-C***), míg a sima muffinok esetében a kohézió átlagértéke 0,4590 és 0,4853 között változik (***15/D-E-F***).

Amíg az almás muffinok (***15/A-B-C ábra***) esetében a hátsó sor mintái mutatták a nagyobb összetartó képességet, a középső tálca esetében bal és jobb oldal mintái is magasabb

értéket adtak. A sima muffin esetében azonban a felső tálcán a bal és középső oszlop, míg az alsó tálcán a középső és jobb oldali oszlop mintái mutatták a magasabb összetartó képességet.

15. ábra *Az almás és sima muffinok felső (A, D), középső (B, E) és alsó (C, F) szinten sütött átlagos kohézió eloszlása (dimenzó mentes érték) (Forrás: saját ábra)*

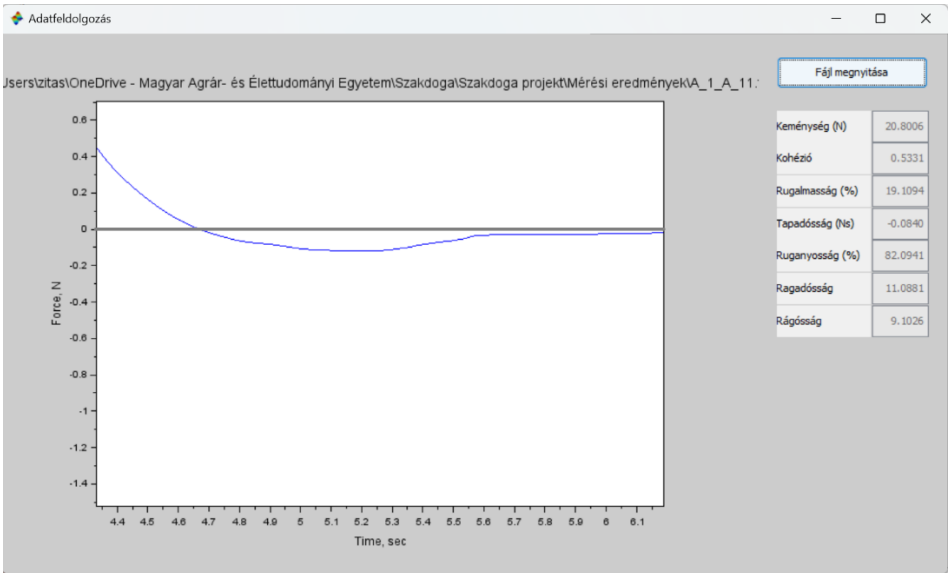


Úgy gondolom, hogy a kohézió értékei alapján messzemenő következtetést nem tudunk levonni, mert a kétféle muffin más eloszlású eredményeket adott a paraméterre, hála az eltérő recepteknek.

5.3.3. Tapadósság

A muffinok tapadósságának abszolútértékei minden párhuzamos és minden pozíció esetében igen alacsonyak voltak. Az átlag értéke nem haladta meg egyik esetben sem a -0,27 Ns értéket. Az alacsony tapadósság értékek már a mérési görbét vizsgálva is várhatóak voltak, ugyanis, ahogyan azt a ***6. és 16. ábrák*** szemléltetik. A 2.4.2 alfejezetben bemutatott jellegzetes TPA görbén (***1. ábra***) A3-mal jelzett terület, ami a tapadósság értékét adja, csak a görbére ráközelítve figyelhető meg jelen mérések esetében.

16. ábra *Az 1. mérési sorozatban az alsó tálcán lévő BH pozícióban sült almás muffin TPA görbéje az adhéziós területre ráközelítve a 0 N erő jelölésével (Forrás: saját ábra)*

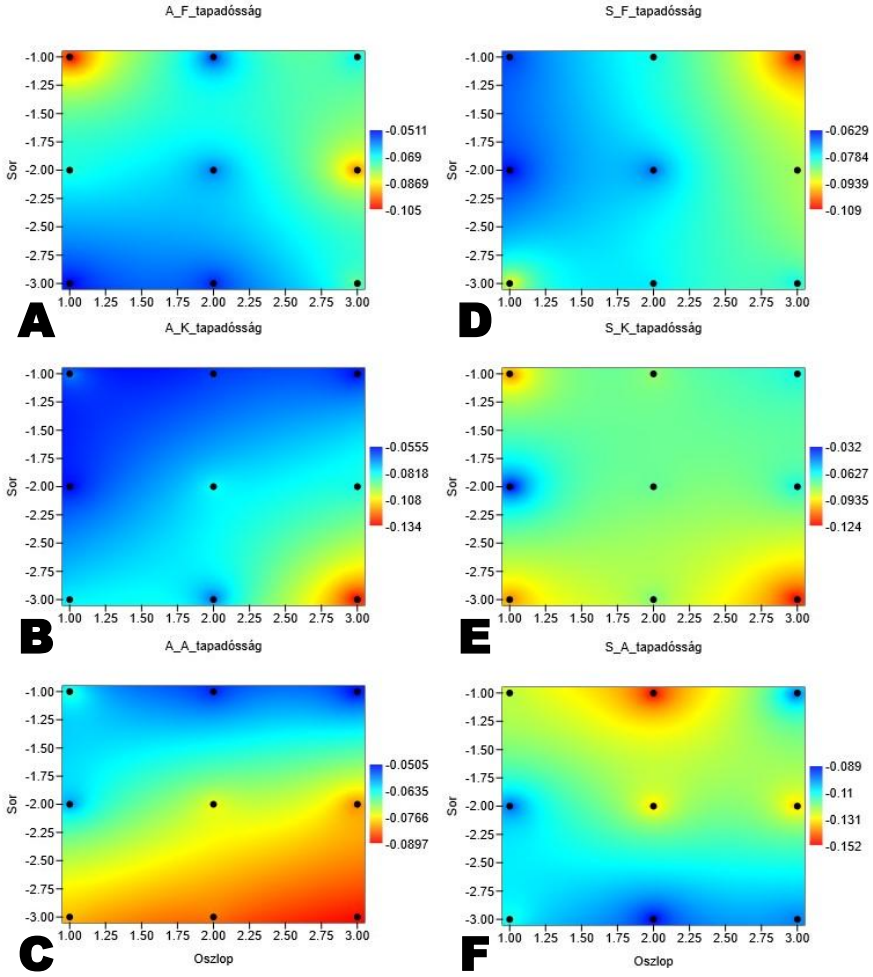


Az almás és a sima muffinok értékei között még felfedezhető egy különbség ennek a paraméternek a vizsgálatakor. Ugyan mindkét esetben alacsony átlagos értékeket tapasztalhatunk, az értékek által lefedett tartományban van eltérés a két különböző típusú muffin esetében. Az almás muffin esetében az értékek -0,0497 Ns és -0,1363 Ns között mozogtak, míg a sima muffinok esetében ennél szélesebb tartományon, -0,0277 Ns és -0,1540 Ns között. Az adott pozíciók esetében azonban nem volt a szinteken megfigyelhető tendencia a tapadósság esetében. A ***17. ábra*** mutatja be a kétféle muffin típus tapadósságát szintenként és pozíciónként.

A kapott értékek minél jobban a negatív tartományba mozdulnak el, annál pirosabbak az eloszlási térképek. Sávos elkülönülés figyelhető meg az almás muffinok esetében leginkább a középső és alsó tálcaszinteken (***17/ A és 17/B ábrák***). Az alsó tálcán figyelhető meg ez az eloszlás legerősebben, bár meg kell jegyezni, hogy azon a szinten volt a legkisebb az értékek tartománya (-0,0505 Ns és -0,0897 Ns között).

A sima muffinok esetében az értékek alakulása némileg eltér az almás muffinnál látottaktól, mert az alsó tálcán fordított elrendeződés látható, így egyrészt a középső oszlop hátsó mintáinak bélzete (KH) mutatta legnagyobb tapadósságot, másrészt az értékek itt a legmagasabbak az összes közül. Mivel ugyanennél a pozíciónál mértük a legmagasabb mintahőmérsékleteket, és a színmérés is igazolta a talpak megégését, ez összefüggésben lehetett a tésztában lévő cukor karamellizálódásával is. Ez okozhatta a nagyobb mértékű tapadást.

17. ábra *Az almás és sima muffinok felső (A, D), középső (B, E) és alsó (C, F) szinten sütött átlagos tapadósságeloszlása Ns-ban (newton secundum) kifejezve (Forrás: saját ábra)*



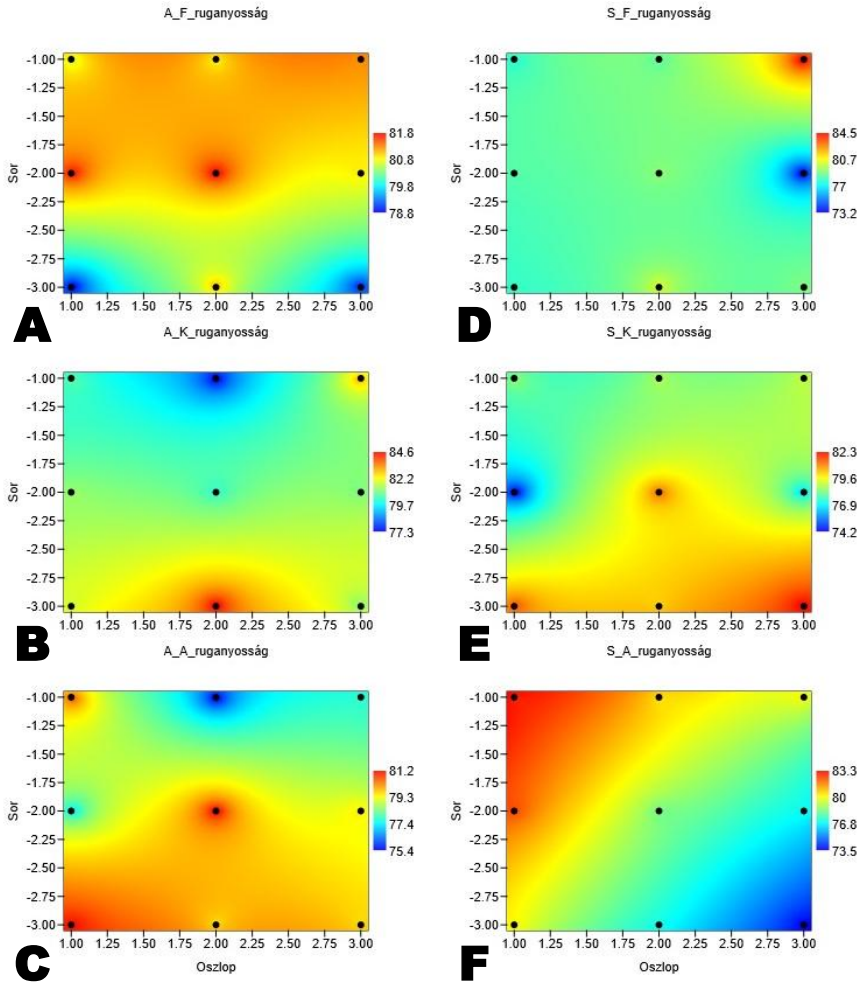
5.3.4. Ruganyosság

A ruganyosság volt a negyedik vizsgált paraméter a TPA teszt során. Eredményeit a ***18. ábra*** mutatja be. Az átlagos értékeket vizsgálva az adott pozíciókon azt tapasztalhatjuk, hogy minden szint és muffin típus egymástól eltérő képet mutat. A két eltérő muffin átlagértékei is hasonló tartományokon mozognak, azzal a különbséggel, hogy a sima muffinok esetében kb. 2%-kal kisebb a legkisebb átlagérték.

Az ruganyosságot jobban megnézve, az egyes tálcákon az értékek tartománya eltérő. Egyrészt az almás muffinok tésztája (***18/A-B-C ábra***) nagyobb ruganyosságot mutatott a gyümölcstartalmának köszönhetően, és a középső tálcán, az ajtó előtt középen (KE pozíció) lévő muffinok ruganyossága volt a legnagyobb (84,6%). Másrészt a felső és alsó tálca ruganyosságértékei hasonló tartományon belüliek voltak, ahol a felső tálca esetén a hátsó sor, míg az alsó tálca esetén az elülső sor muffinjai bizonyultak a legruganyosabbnak.

A sima muffinok esetében a három tálcaszint eltérő arculatot mutatott (***18/D-E-F ábra***).

18. ábra *Az almás és sima muffinok felső (A, D), középső (B, E) és alsó (C, F) szinten sütött átlagos ruganyosságeloszlása százalékban kifejezve (Forrás: saját ábra)*



Az almás muffinhoz képest - ahogy korábban megállapítottam – alacsonyabb ruganyossággal bírtak a tészták. Emellett azonban nagyobb szórást figyeltem meg a felső (73,2% és 84,5% között) és az alsó tálcán (73,5% és 83,3% között) egyaránt. Míg azonban a felső tálcán csak 1-1 szélső érték látható, úgy az alsón egy átlós elkülönülés figyelhető meg, a magasabb értékek a bal oldali mintákra voltak jellemzőek.

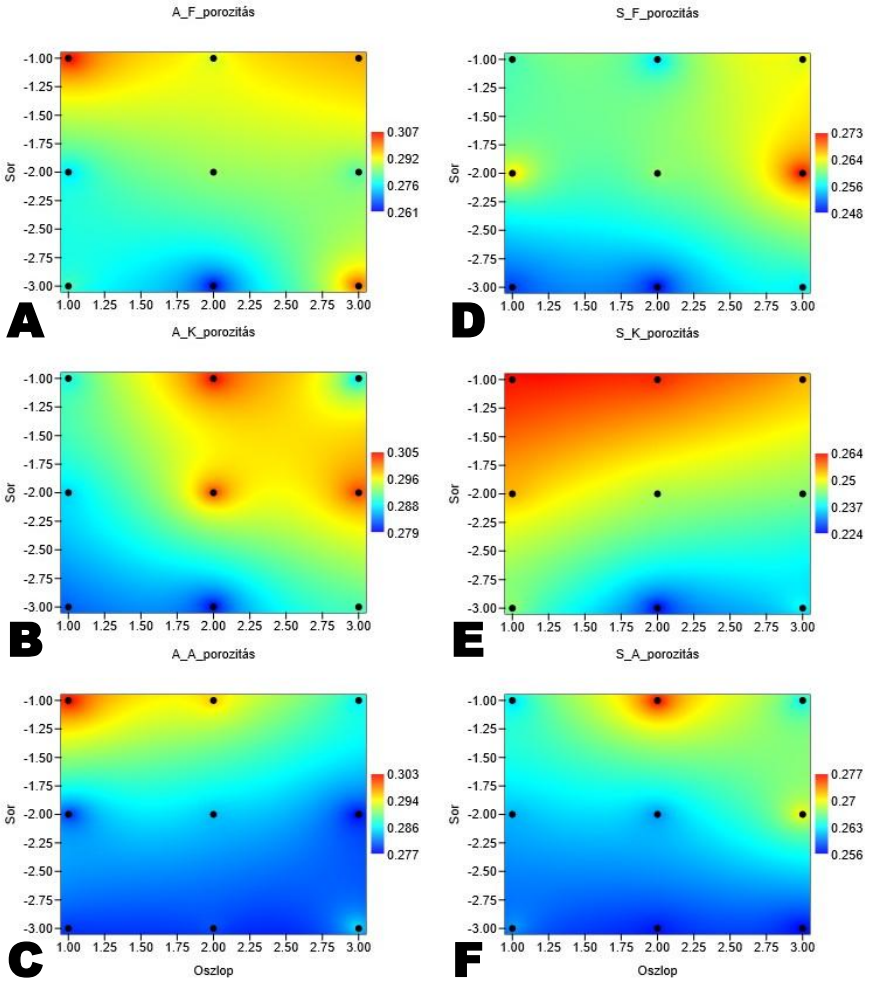
Az állományvizsgálat során végzett TPA teszt eredményeit összevetve megállapítható, hogy a keménység és kohézió paraméterek esetében figyelhető meg hasonló elkülönülés a hőmérséklet és színmérési eredményekkel összhangban. A TPA paraméterei közül a legjobban használható paraméterek a kísérlet szempontjából a keménység és a tapadósság voltak.

5.4. Porozitás

A porozitás esetében a kiértékelés során választott három paraméter közül (SD, CV és VAR) a CV bizonyult alkalmasnak minták összehasonlítására. Az eredményeket megvizsgálva a hőmérsékletéhez hasonlatos eloszlást tapasztaltam. Ez azt jelenti, hogy a sütő hátfalához közel

magasabb CV értékeket kaptam, míg az ajtó vonalában többségében alacsonyabbakat. Kijelenthető, hogy az alsó tálcáktól (sima és almás) eltekintve itt is a KE pozíció átlagértéke a legalacsonyabb minden esetben. Az alsó tálcák esetében az almás muffinoknál a JK pozíció átlag variációs koefficiens értéke volt a legalacsonyabb (0,2770), míg a sima esetében a JE pozíció értéke (0,2562) (***19. ábra***).

19. ábra *Az almás (felső – A, középső – B, alsó – C) és sima (felső – D, középső - E, alsó – F) szinten sütött muffinok átlagos variációs koefficiens (CV) eloszlása (dimenziómentes) (Forrás: saját ábra)*



Mindemellett itt is különbség fedezhető fel a sima és almás muffinok átlagos értékeinek tartománya között. A kohézióhoz hasonlóan ebben az esetben is a sima muffinok átlaga mozog alacsonyabb értéktartományban (0,2226 – 0,2775), az almáshoz viszonyítva (0,2591 – 0,3082).

Az almás muffinoknál megfigyelhető szélesebb értéktartomány visszavezethető a tészták eltérő szerkezetére. Az alma hozzáadásával ugyanis a szerkezet inhomogénebbnek bizonyult, és magasabb volt a tészta nedvességtartalma is a gyümölcs miatt.

A porozitás CV eredményei alapján elmondható, hogy a hőmérséklethez hasonló eloszlást mutattak a minták és az almás muffinok esetében látható magasabb érték.

6. Összefoglalás

Meghatározott receptek alapján 3-3 párhuzamos mérés keretében sima és almás muffinokat sütöttem az Élelmiszeripari Méréstechnika és Automatizálás Tanszék Venticell szárítószekrényében. A célom az volt, hogy megvizsgáljam, hogy a berendezés milyen hőmérsékleteloszlással bír, és a kisült muffinok fizikai vizsgálataival, meghatározott paraméterek segítségével képet kapjak erről. Ennek érdekében a sütőtér 27 pontját vizsgáltam a hőmérsékleteloszlás hatásainak feltérképezéséhez. A muffinok 3 szinten, szintenként 3x3-as elrendezésben helyezkedtek el. A sütést 160 °C-on, előmelegített szárítószekrényben végeztem. A 30 perces sütési idő elteltével kivett muffinok hőmérsékletét azonnal megmértem, majd egy óra elteltével, azok színét, állományát (TPA mérés segítségével) és porozitását szintén. A TPA paraméterek kinyerését Scilab kód segítségével végeztem. A muffinok bélzetén porozitás vizsgálatot is végeztem.

A frissen a szárítószekrényből kivett sütemények hőmérsékleteiben látszott a sütőtér egyes szintjeinek eltérése, valamint a tálcaszinten belüli eltérés is. A legmagasabb hőmérsékletet az alsó tálca mintái esetében tapasztaltam, itt is a sütő hátfalánál középen, a KH pozícióban. A színmérés eredményeinél szignifikáns különbség mutatkozott a sima és almás muffinok esetében egyaránt, a talpon mért L*, a* és b* értékekben az alsó tálca esetében volt szignifikáns eltérés. Minden esetben a KH pozíció tér el, ám néhány esetben sorok között is tapasztalható szignifikáns különbség.

A TPA mérés során kapott eredményeket összehasonlítva szignifikáns különbség nem volt, de eltérések megfigyelhetőek a tálcaszintek között és a pozíciókban egyaránt. Megállapítható, hogy a keménység és kohézió paraméterek esetében figyelhető meg hasonló elkülönülés a hőmérséklet és színmérési eredményekkel összhangban. A TPA paraméterei közül a legjobban használható paraméterek a kísérlet szempontjából a keménység és a tapadósság voltak. Mindez összhangban van még a sütő hátfala mellett elhelyezett minták kivételkori magasabb hőmérsékletével is.

A porozitás esetében a kiértékelés során választott három paraméter közül (SD, CV és VAR) a CV bizonyult alkalmasnak minták összehasonlítására. Az eredményeket megvizsgálva a hőmérsékletéhez hasonlatos eloszlást tapasztaltam. Ez azt jelenti, hogy a sütő hátfalához közel magasabb CV értékeket kaptam, míg az ajtó vonalában többségében alacsonyabbakat. Az almás muffinoknál megfigyelhető szélesebb értéktartomány visszavezethető a tészták eltérő szerkezetére. Az alma hozzáadásával ugyanis a szerkezet inhomogénebbnek bizonyult, és magasabb volt a tészta nedvességtartalma is a gyümölcs miatt.

Fontos megemlítenünk még, hogy az almát tartalmazó muffinok hőmérséklete magasabb volt a simához viszonyítva, mely a tésztában található gyümölcsdarabok eltérő hővezetésének tudható be.

A szárítószekrény légterének fűtése a berendezés hátfalán található fűtőszálnak köszönhető. Ez megmagyarázza az egyes tálcaszinteken a hátsó sorokon mért magasabb hőmérsékleteket. A légkeverés során a friss levegő betáplálás felülről történik, a spirális légáramlás lefelé halad, és a levegő hőmérséklete egyre melegebb lesz. A sütés során ahogy Boulet és mtsai. (2010) is leírták, egyszerre több jelenség együttes hatásával kell számolnunk, mint a hő- és tömegátadás, valamint a légáramlás. A hőátadás típusai, mint a konvekció, kondukció és sugárzás jelentősen befolyásolják a kész termék minőségét. A termék hőfelvétele a sütés kezdeti szakaszában a legmagasabb és emiatt fontos volt a szárítószekrény előzetes felfűtése a sütési hőmérsékletre.

Mivel a szárítószekrényben történő légáramlásról nincsenek pontos információ, nem ismert annak sebessége sem. Azonban Anishaparvin és munkatársainak (2010) kenyerekkel végzett kísérletéhez képest a kísérletemben a muffinok az alsó tálcán sültek meg hamarabb, ami sok esetben a talp megégésével járt. Az általuk dokumentált nagy hőmérsékletkülönbségeknek én csupán a töredékét tapasztaltam. A megégett talp keményebbé tehette a szerkezetet, ami a keménységértékekben is megmutatkozott. A megégés a tésztában lévő cukorra is hatással lehetett, a bélzet tapadósságát növelhette.

A kapott eredmény tükrében az egyenletes sütés érdekében célszerű a sütési idő alatt változtatni a muffinok pozícióit nem csak a tálcán belül, hanem a szintek között is.

7. Irodalomjegyzék

1. Abdullah, M.Z. (2008): Quality Evaluation of Bakery Products. In: Sun D-W. (szerk.): Computer Vision Technology for Food Quality Evaluation. Academic Press, Burlington, 481-522.
2. Amani, H., Firtha, F., Jakab, I., Baranyai, L., Badak-Kerti, K. (2021): Nondestructive evaluation of baking parameters on pogácsa texture. *Journal of Texture Studies*, 52(4): 510-519. DOI: 10.1111/jtxs.12619
3. Anishaparvin, A., Chhanwal, N., Indrani, D., Raghavarao, K.S.M.S., Anandharamakrishnan, C. (2010): An Investigation of Bread-Baking Process in a Pilot-Scale Electrical Heating Oven Using Computational Fluid Dynamics. *Journal of Food Science*, 75(9): E605-E611. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2010.01846.x
4. Azmi, M.M.Z., Ahmedov, A., Taip, F.S. (2020): Experimental studies and mathematical modeling on the effects of rapid airflow and baking temperature during baking. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 32(6): 469-478. DOI: 10.9755/ejfa.2020.v32.i6.2117
5. Boulet, M., Marcos, B., Dostie, M., Moresoli, C. (2010): CFD modeling of heat transfer and flow field in a bakery pilot oven. *Journal of Food Engineering*, 97(3): 393-402. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2009.10.034
6. Bourne, M., C. (2002): Texture Profile Analysis (TPA), In: Taylor, S., L., Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement Second Edition. Academic Press, London, 182-186.
7. Bredariol, P., Spatti, M., Vanin, F.M. (2019): Different baking conditions may produce breads with similar physical qualities but unique starch gelatinization behaviour. *LWT*, 111:737-743. DOI: 10.1016/j.lwt.2019.05.094
8. Broadbent, A.D. (2017): Colorimetry, Methods. In: Lindon, J.C., Tranter, G.E., Koppenaal D.W. (szerk.): Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry (Third Edition). Academic Press, London, 321-327.
9. Chhanwal, C., Anishaparvin, A., Indrani, D., Raghavarao, K.S.M.S., Anandharamakrishnan, C. (2010): Computational fluid dynamics (CFD) modeling of an electrical heating oven for bread-baking process. *Journal of Food Engineering*, 100: 452-460. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2010.04.030
10. Csima, Gy. (2015): Zselatin alapú édesipari termék reológiájának jellemzése. [doktori értekezés] Budapesti Corvinus Egyetem, Élelmiszertudományi Doktori Iskola.
11. Davidson I. (2016): Heat Transfer. In: Banderia, N.D. (szerk.): Biscuit Baking Technology (Second Edition). Elsevier Science, London, 59-71.
12. Galili, T., O'Callaghan, A., Sidi, J., Sievert, C. (2018): heatmaply: an R Package for creating interactive cluster heatmaps for online publishing. *Bioinformatics*, 34(9): 1600-1602. DOI: 10.1093/bioinformatics/btx657
13. Gehlenborg, N., Wong, B. (2012): Heat map. *Nature Methods*, 9(3): 213. DOI: 10.1038/nmeth.1902
14. Gökmen, V. (2016): Introduction: Potential Safety Risks Associated with Thermal Processing of Foods. In: Banderia, N. (szerk.): Acrylamide in Food analysis, Content and Potential Health Effects. Academic Press, London, 21-26.
15. Gundu, R., Throat, I.D., Jagtap, D.D., Datta, A.K., Jayashree, G.C. (2012): Optimization of Cup Bread Baking in Household Electric Oven. *Global Advanced Journal of Food Science and Technology*, 1(5): 074-080.
16. He, Y., Wang, A., Chen, Z., Nie, M., Xi, H., Gong, X., Liu, L., Wang, L., Sun, J., Bai, Y., Huang, Y., Sun, P., Wang, F., Tong, L. (2023): Effects of egg powder on the structure of highland barley dough and the quality of highland barley bread. *International Journal of Biological Macromolecules*, 240: DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.124376
17. Jeong, S., Park, Y., Lee, S. (2021): Assessment of turanose as a sugar alternative in a frozen dough system: Rheology, tomography, and baking performance. *LWT*, 141: DOI: 10.1016/j.lwt.2021.110869
18. Kadir, N.S.A., Khor, Y.P., Lee, Y.J., Lan, D., Qi, S., Wang, Y., Tan, C.P. (2022): Formation of 3-MCPD and glycidyl esters in biscuits produced using saybean oil-based diycylglycerol stearin-shortening blends: Impacts of different baking temperatures and blending ratios. *Food Research International*, 162, Part B DOI: 10.1016/j.foodres.2022.112055

19. Key, M. (2012): A tutorial in displaying mass spectrometry-based proteomic data using heat maps. *Statistical mass spectrometry-based proteomics*, 13(16): S10. DOI: 10.1186/1471-2105-13-S16-S10
20. Khatir, Z., Paton, J., Thompson, H., Kapur, N., Toropov, V., Lawes, M., Kirk, D., Computational fluid dynamics (CFD) investigation of air flow and temperature distribution in a small scale bread-baking oven. *Applied Energy*, 89(1): 89-96. DOI: 10.1016/j.apenergy.2011.02.002
21. Lambertné, Meretei, A. (2012): Módszer kenyérbélzet állományjellemzőinek meghatározására. [doktori értekezés] Budapest: Élelmiszertudományi Doktori Iskola. Forrás: http://phd.lib.uni-corvinus.hu/645/1/Meretei_Aniko.pdf
22. Lapčíková, B., Burešová, I., Lapčík, L., Dabash, V., Valenta, T. (2019): Impact of particle size on wheat dough and bread characteristics. *Food Chemistry*, 297: DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.06.005
23. László, P., Zana, J. (2006a): Színmérés. In: László, P. (szerk.): Élelmiszerfizika I. (Hidrodinamika, reológia, fénytan). A Budapesti Corvinus Egyetem Élelmiszertudományi Kara és a Mezőgazda Kiadó, Budapest, 94-124.
24. László, P. (2006b): Reológia. In: László, P. (szerk.): Élelmiszerfizika I. (Hidrodinamika, reológia, fénytan). A Budapesti Corvinus Egyetem Élelmiszertudományi Kara és a Mezőgazda Kiadó, Budapest, 40-75.
25. Martínez-Cervera, S., Sanz, T., Salvador, A., Fiszman, S.M. (2012): Rheological, textural and sensorial properties of low-sucrose muffins reformulated with sucralose/polydextrose. *LWT - Food Science and Technology*, 45: 213-230. DOI: 10.1016/j.lwt.2011.08.001
26. Mistry, H., Ganapathi-subbu, Dey, S., Bishnoi P., Castillo, J.L. (2006): Modeling of transient natural heat transfer in electric ovens. *Applied Thermal Engineering*, 26:2448-2456. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2006.02.007
27. O'Sullivan, M.G. (2017): Sensory Properties of Bakery and Confectionary Products. In: Sykes, R. (szerk.): A Handbook for Sensory and Consumer-Driven New Product Innovative Technologies for the Food and Beverage Industry Development. Woodhead Publishing, Duxford, 305-324.
28. Packkia-Doss, P.P., Chelvallier, S., Pare, A., Le-Bail, A. (2019): Effect of supplementation of wheat bran on dough aeration and final bread volume. *Journal of Food Engineering*, 252: 28-35. DOI: 10.1016/j.foodeng.2019.01.014
29. Patel, B.K., Waniska, R.D., Seetharaman, K. (2005): Impact of different baking processes on bread firmness and starch properties in breadcrumb. *Journal of Cereal Science*, 42(2): 173-184. DOI: 10.1016/j.jcs.2005.04.007
30. Rahimi, J., Baur, J., Singh, A. (2020): Digital imaging as a tool to study the structure of porous baked foods. *Journal of Cereal Science*, 95: DOI: 10.1016/j.jcs.2020.103084
31. Rahimi, J., Ngadi, M.O. (2014): Inter-particle space fractions in fried batter coatings as influenced by batter formulation and pre-drying time. *LWT - Food Science and Technology*, 57(2): 486-493. DOI: 10.1016/j.lwt.2014.02.032
32. Redd, A.J., Pike, O.A., Ahlborn,G.J. (2024): Effects of microbial transglutaminase on gluten-free sourdough bread structure and loaf characteristics. *Journal of Cereal Science*, 115: DOI: 10.1016/j.jcs.2023.103833
33. Reddy, R.S., Arepally, D., Datta, A.K. (2020): Estimation of heat flux in bread baking by inverse problem. *Journal of Food Engineering*, 271: DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2019.109774
34. Schott, F., Isaksson, S., Larsson, E., Marone, F., Öhgren, C., Röding, M., Hall, S., Lorén, N., Mokso, R., Raaholt, B.W. (2023): Structural formation during bread baking in a combined microwave-convective oven determined by sub-second in-situ synchrotron X-ray microtomography. *Food Research International*, 173(1): DOI: 10.1016/j.foodres.2023.113283
35. Seranthian, K., Datta, A. (2023): Dynamics of cupcake baking: Coupled multiphase heat and mass transport in a deformable porous material. *Chemical Engineering Science*, 277: DOI: 10.1016/j.ces.2023.118802
36. Shen, Y., Chen, G., Li, Y. (2018): Bread characteristics and antioxidant activities of Maillard reaction products of white pan bread containing various sugars. *LWT*, 95: 308-315. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.05.008
37. Szedljak, I., Kujbus, V.R. (2018): Pszeudocereália alkalmazási lehetőségei a termékfejlesztésben. Élelmiszervizsgálati Közlemények 64(1): 1919-1929.

38. Tank, A., Chhanwal, N., Indrani, D., Anandharamakrishnan, C. (2012): Computational fluid dynamics modeling of bun baking process under different oven load conditions. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9):2030-2037. DOI: 10.1007/s13197-012-0736-6
39. Tóth, M., Kaszab, T., Meretei, A. (2022): Texture profile analysis and sensory evaluation of commercially available gluten-free bread samples. European Food Research and Technology. 248(6): 1447–1455. DOI: https://doi.org/10.1007/s00217-021-03944-2
40. Vozáry, E. (2015): Reológia elmélet élelmiszermérnököknek. Budapesti Corvinus Egyetem, Egyetemi jegyzet, Budapest
41. Zareifard, M.R., Boissonneault, V., Marcotte, M. (2009): Bakery product characteristics as influenced by convection heat flux. *Food Research International*, 42(7):856-864. DOI: 10.1016/j.foodres.2009.03.008

Internetes hivatkozások:

Internet 1: https://www.stablemicrosystems.com/TAXTplus.html (Megtekintés dátuma: 2024.02.28.)
Internet 2: https://www.instron.com/en/ (Megtekintés dátuma: 2024.02.28.)
Internet 3: https://www.brookfieldengineering.com/products/texture-analyzers (Megtekintés dátuma: 2024.02.28.)
Internet 4: https://www.mmm-medcenter.com/venticell-61 (Megtekintés dátuma: 2024.07.30.)

8. Ábra- és táblázatjegyzék

Ábrajegyzék

1. ábra Egy jellegzetes TPA mérési görbe élelmiszerek esetében (Forrás: Csima, 2015) 9
2. ábra A muffinok elrendezése (zöld - F (felső), lila - K (középső), sárga - A (alsó)) (Forrás: saját fotó) 20
3. ábra Szintenkénti sütési elrendezés a szárítószekrényben (Forrás: saját ábra) 20
4. ábra Venticell szárítószekrény működési mechanizmusa (Internet 4) 21
5. ábra A színmérés mérési elrendezése (Forrás: saját ábra) 21
6. ábra A hét reológiai paraméter meghatározására készített kód program ablaka a 0 N erő jelölésével (Forrás: saját ábra) 23
7. ábra Az almás és sima muffinok felső (A, D), középső(B, E) és alsó tálcáinak (C, F) átlagos hőmérsékleteloszlása Celsius fokban kifejezve (Forrás: saját ábra) 25
8. ábra Példa pozíciómagyarázattal a muffinok talpának megégésére az alsó tálcán (Forrás: saját fotó) 26
9. ábra Az **almás** muffinok **talp**ának L* a* b* értékei az **alsó** tálca esetében (Forrás: saját ábra) 26
10. ábra A **sima** muffinok **talp**ának L* a* b* értékei az **alsó** tálca esetében (Forrás: saját ábra) 27
11. ábra A sima és almás muffinok tetejének és talpának átlagos világossági tényező (L*) értékei pozíciók szerint a szórás feltűntetésével (Forrás: saját ábra) 28
12. ábra A sima és almás muffinok tetejének és talpának átlagos vörös-zöld színezet (a*) értékei pozíciók szerint a szórás feltűntetésével (Forrás: saját ábra) 29
13. ábra A sima és almás muffinok tetejének és talpának átlagos sárga-kék színezet (b*) értékei pozíciók szerint a szórás feltűntetésével (Forrás: saját ábra) 30
14. ábra Az almás és sima muffinok felső (A, D), középső (B, E) és alsó (C, F) szinten sütött átlagos keménység eloszlása newtonban kifejezve (Forrás: saját ábra) 32
15. ábra Az almás és sima muffinok felső (A, D), középső (B, E) és alsó (C, F) szinten sütött átlagos kohézió eloszlása (dimenzó mentes érték) (Forrás: saját ábra) 33
16. ábra Az 1. mérési sorozatban az alsó tálcán lévő BH pozícióban sült almás muffin TPA görbéje az adhéziós területre ráközelítve a 0 N erő jelölésével (Forrás: saját ábra) 34
17. ábra Az almás és sima muffinok felső (A, D), középső (B, E) és alsó (C, F) szinten sütött átlagos tapadósságeloszlása Ns-ban (newton secundum) kifejezve (Forrás: saját ábra) 35
18. ábra Az almás és sima muffinok felső (A, D), középső (B, E) és alsó (C, F) szinten sütött átlagos ruganyosságeloszlása százalékban kifejezve (Forrás: saját ábra) 36
19. ábra Az almás (felső – A, középső – B, alsó – C) és sima (felső – D, középső - E, alsó – F) szinten sütött muffinok átlagos variációs koefficiens (CV) eloszlása (dimenziómentes) (Forrás: saját ábra) 37

Táblázatjegyzék

1. táblázat Felhasznált alapanyag mennyiségek a muffinok elkészítéséhez (Forrás: saját készítés) 19
2. táblázat A varianciaanalízis eredménye **sima** muffin talpának világossági tényezőjére (L*) az alsó tálcán ($p<0,05$) (Forrás: saját táblázat) 28
3. táblázat A varianciaanalízis eredménye **almás** muffin talpának világossági tényezőjére (L*) az alsó tálcán ($p<0,05$) (Forrás: saját táblázat) 28
4. táblázat A varianciaanalízis eredménye **sima** muffin talpának vörös-zöld színezeti jellemzőjére (a*) az alsó tálcán ($p<0,05$) (Forrás: saját táblázat) 29
5. táblázat A varianciaanalízis eredménye **almás** muffin talpának vörös-zöld színezeti jellemzőjére (a*) az alsó tálcán ($p<0,05$) (Forrás: saját táblázat) 29
6. táblázat A varianciaanalízis eredménye **sima** muffin talpának sárga-kék színezeti jellemzőjére (b*) az alsó tálcán ($p<0,05$) (Forrás: saját táblázat) 31
7. táblázat A varianciaanalízis eredménye **almás** muffin talpának sárga-kék színezeti jellemzőjére (b*) az alsó tálcán ($p<0,05$) (Forrás: saját táblázat) 31

9. Mellékletek

Scilab script

```
// Texture Profile Analysis

// Create application window
f = figure("figure_size", [1000 600], ...
    "figure_name", "Adatfeldolgozás", ...
    "dockable","off", ...
    "infobar_visible","off", ...
    "toolbar_visible","off", ...
    "menubar_visible","off", ...
    "default_axes","on", ...
    "auto_resize","on");

// Avoid warning message of function update
funcprot(0);

// Create user interface
handles.dummy = 0;
handles.ChartFrame = uicontrol(f, ...
    "style", "frame", ...
    "units", "normalized", ...
    "position", [0 0 0.8 1]);
handles.pbOpen = uicontrol(f, ...
    "style", "pushbutton", ...
    "string", "Fájl megnyitása", ...
    "units", "normalized", ...
    "position", [0.82 0.9 0.16 0.06], ...
    "callback", "pbOpen(handles)");

// Data analysis results
handles.strHardness = uicontrol(f, ...
    "style", "text", ...
    "string", "Keménység (N)", ...
    "units", "normalized", ...
    "position", [0.82 0.8 0.10 0.06]);
handles.edHardness = uicontrol(f, ...
    "style", "edit", ...
    "string", "0", ...
    "enable", "off", ...
    "HorizontalAlignment", "right", ...
    "units", "normalized", ...
    "position", [0.92 0.8 0.06 0.06]);

handles.strCohesion = uicontrol(f, ...
    "style", "text", ...
    "string", "Kohézió", ...
    "units", "normalized", ...
    "position", [0.82 0.74 0.10 0.06]);
handles.edCohesion = uicontrol(f, ...
    "style", "edit", ...
    "string", "0", ...
    "enable", "off", ...
    "HorizontalAlignment", "right", ...
    "units", "normalized", ...
    "position", [0.92 0.74 0.06 0.06]);

handles.strResilience = uicontrol(f, ...
    "style", "text", ...
    "string", "Rugalmasság (%)", ...
    "units", "normalized", ...
    "position", [0.82 0.68 0.10 0.06]);
handles.edResilience = uicontrol(f, ...
    "style", "edit", ...
```

```
    "string", "0", ...
    "enable", "off", ...
    "HorizontalAlignment", "right", ...
    "units", "normalized", ...
    "position", [0.92 0.68 0.06 0.06]);

handles.strAdhesivness = uicontrol(f, ...
    "style", "text", ...
    "string", "Tapadósság (Ns)", ...
    "units", "normalized", ...
    "position", [0.82 0.62 0.10 0.06]);
handles.edAdhesivness = uicontrol(f, ...
    "style", "edit", ...
    "string", "0", ...
    "enable", "off", ...
    "HorizontalAlignment", "right", ...
    "units", "normalized", ...
    "position", [0.92 0.62 0.06 0.06]);

handles.strSpringiness = uicontrol(f, ...
    "style", "text", ...
    "string", "Ruganyosság (%)", ...
    "units", "normalized", ...
    "position", [0.82 0.56 0.10 0.06]);
handles.edSpringiness = uicontrol(f, ...
    "style", "edit", ...
    "string", "0", ...
    "enable", "off", ...
    "HorizontalAlignment", "right", ...
    "units", "normalized", ...
    "position", [0.92 0.56 0.06 0.06]);

handles.strGumminess = uicontrol(f, ...
    "style", "text", ...
    "string", "Ragadósság", ...
    "units", "normalized", ...
    "position", [0.82 0.5 0.10 0.06]);
handles.edGumminess = uicontrol(f, ...
    "style", "edit", ...
    "string", "0", ...
    "enable", "off", ...
    "HorizontalAlignment", "right", ...
    "units", "normalized", ...
    "position", [0.92 0.5 0.06 0.06]);

handles.strChewiness = uicontrol(f, ...
    "style", "text", ...
    "string", "Rágósság", ...
    "units", "normalized", ...
    "position", [0.82 0.44 0.10 0.06]);
handles.edChewiness = uicontrol(f, ...
    "style", "edit", ...
    "string", "0", ...
    "enable", "off", ...
    "HorizontalAlignment", "right", ...
    "units", "normalized", ...
    "position", [0.92 0.44 0.06 0.06]);


// Set default values
handles.FName = "";
handles.myData = zeros(1,3);
```

```
//
// Functions
//

// Open text data file
function pbOpen(handles)
 [FileName,PathName,FilterIndex] = uigetfile(["*.tab|*.TAB|*.txt|*.TXT|*.csv|*.CSV", "ASCII text file (tab, txt, csv)"]);
 if FilterIndex == 0 then
     messagebox("No file was selected.","Error","error","modal");
     return;
 end
 tmp = csvRead(fullfile(PathName, FileName),ascii(9),',','double',[],[],[],4);
 handles.FName = fullfile(PathName, FileName);
 handles.myData = tmp;
// Show chart
 ShowChart(handles);
// Save for global use
 handles = resume(handles);
endfunction

// Make figure of selected slice
function ShowChart(handles)
 tmp = handles.myData;
// Data names
 dnames = ['Force, N' 'Penetration depth, mm' 'Time, sec'];
// Drawing functions
 myaxes = newaxes(handles.ChartFrame);
 clf(handles.ChartFrame);
// Type selection
 XD = tmp(:,3);
 YD = tmp(:,1);
 plot(XD,YD);
 xlabel(dnames(3));
 ylabel(dnames(1));
 title(handles.FName);
// Show calculated values
 Calculations(handles);
// Save for global use
 handles = resume(handles);
endfunction

// Data analysis
function Calculations(handles)
 tmp = handles.myData;
// x-y data selection
 xd = tmp(:,3);
 yd = tmp(:,1);
// Starting point
 z0 = 1;
 x0 = xd(z0);
 y0 = yd(z0);
 printf("x0 = %.3f s\n",x0);
 printf("y0 = %.4f N\n",y0);
// Zero 1
 i = 2;
while i < length(yd) - 1
    if yd(i) >= 0.001 && yd(i+1) < 0.001 then
        x2 = xd(i);
        y2 = yd(i);
        z2 = i;
        break;
```

```
    end
    i = i + 1;
end
printf("x2 = %.3f s\n",x2);
printf("y2 = %.4f N\n",y2);
printf("z2 = %d \n",z2);
// Zero 2
i = z2 + 1;
while i < length(yd)
    if yd(i) < y0 && yd(i+1) >= y0 then
        x3 = xd(i);
        y3 = yd(i);
        z3 = i;
        break;
    end
    i = i + 1;
end
printf("x3 = %.3f s\n",x3);
printf("y3 = %.4f N\n",y3);
printf("z3 = %d \n",z3);
// Zero 3
i = z3 + 1;
while i < length(yd) - 1
    if yd(i) >= 0.001 && yd(i+1) < 0.001 then
        x5 = xd(i);
        y5 = yd(i);
        z5 = i;
        break;
    end
    i = i + 1;
end
printf("x5 = %.3f s\n",x5);
printf("y5 = %.4f N\n",y5);
printf("z5 = %d \n",z5);
// First compression maximum / hardness
i = 1;
m1 = zeros(length(z2),1);
while i < z2
    m1(i) = yd(i);
    y1 = max(m1);
    i = i + 1;
end
handles.edHardness.string = msprintf("%.4f",y1);
printf("y1 = %.4f N\n",y1);
//x1 = xd(yd == y1); // this worked as well for some reason
z1 = find(yd == y1);
x1 = xd(z1);
printf("x1 = %.3f s\n",x1);
// Second compression maximum
i = z3;
m2 = zeros(length(yd),1);
while i < z5
    m2(i) = yd(i);
    y4 = max(m2);
    i = i + 1;
end
printf("y4 = %.4f N\n",y4);
z4 = find(yd == y4);
x4 = xd(z4);
printf("x4 = %.3f s\n",x4);
// Area calculations
// A1
```

```
 xd1 = xd(xd <= x1);
 m3 = zeros(length(xd1),1);
 for i = 2 : length(xd1)
     m3(i) = ((yd(i) + yd(i-1)) / 2) * (xd(i)-xd(i-1));
 end
 A1 = sum(m3);
 printf("A1 = %.4f Ns\n",A1);
// A2
 L2 = (xd >= x1) & (xd <= x2);
 xd2 = xd(L2);
 yd2 = yd(L2);
 m4 = zeros(length(xd2),1);
 for i = 2 : length(xd2)
     m4(i) = ((yd2(i) + yd2(i-1)) / 2) * (xd2(i)-xd2(i-1));
 end
 A2 = sum(m4);
 printf("A2 = %.4f Ns\n",A2);
// A3
 L3 = (xd >= x3) & (xd <= x4);
 xd3 = xd(L3);
 yd3 = yd(L3);
 m5 = zeros(length(xd3),1);
 for i = 2 : length(xd3)
     m5(i) = ((yd3(i) + yd3(i-1)) / 2) * (xd3(i)-xd3(i-1));
 end
 A3 = sum(m5);
 printf("A3 = %.4f Ns\n",A3);
// A4
 L4 = (xd >= x4) & (xd <= x5);
 xd4 = xd(L4);
 yd4 = yd(L4);
 m6 = zeros(length(xd4),1);
 for i = 2 : length(xd4)
     m6(i) = ((yd4(i) + yd4(i-1)) / 2) * (xd4(i)-xd4(i-1));
 end
 A4 = sum(m6);
 printf("A4 = %.4f Ns\n",A4);
// A5 / adhesivness
 L5 = (xd >= x2) & (xd <= x3);
 xd5 = xd(L5);
 yd5 = yd(L5);
 m7 = zeros(length(xd5),1);
 for i = 2 : length(xd5)
     m7(i) = ((yd5(i) + yd5(i-1)) / 2) * (xd5(i)-xd5(i-1));
 end
 printf("A5 = Tapadósság = %.4f Ns\n",sum(m7));
 handles.edAdhesivness.string = msprintf("%.4f",sum(m7));
// Calculating cohesion
 Co = (A3 + A4) / (A1 + A2);
 printf("Cohesion = %.4f \n",Co);
 handles.edCohesion.string = msprintf("%.4f",Co);
// Calculating resilience
 Re = (A2 / A1) * 100;
 printf("Resilience = %.4f %%\n",Re);
 handles.edResilience.string = msprintf("%.4f",Re);
// Calculating springiness
 Sp = (x4 - x3) / (x1 - x0) * 100;
 printf("Springiness = %.4f %%\n",Sp);
 handles.edSpringiness.string = msprintf("%.4f",Sp);
// Calculating gumminess
 Gu = yl * Co;
 printf("Gumminess = %.4f \n",Gu);
 handles.edGumminess.string = msprintf("%.4f",Gu);
// Calculating chewiness
 Ch = Gu * (Sp / 100);
 printf("Chewiness = %.4f \n",Ch);
 handles.edChewiness.string = msprintf("%.4f",Ch);
// Save for global use
 handles = resume(handles);
endfunction
```

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani témavezetőimnek Dr. Kaszab Tímea tanárnőnek és Dr. Baranyai László tanárúrnak a segítségükért és a sok észrevételért, amellyel hozzájárultak a szakdolgozatom elkészüléséhez.

Dr. Kaszab Tímea tanárnőnek külön köszönettel tartozom a reológia iránti érdeklődésem felkeltéséért és a dolgozat készítése során kapott szakmai tanácsokért és támogatásért.

Szeretném megköszönni az Élelmiszeripari Méréstechnika és Automatizálás Tanszék munkatársainak segítségét is.

Végül, de nem utolsó sorban szeretném megköszönni szüleimnek és páromnak a támogatást és iránymutatást, amellyel segítették egyetemi tanulmányaimat és e TDK dolgozat létrejöttét.