

SZAKDOLGOZAT

Szijj Zita Viktória

2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Budai Campus
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
Élelmiszermérnök alapképzési szak

Hőmérsékleteloszlás hatásának vizsgálata a muffinok reológiai tulajdonságaira

Belső konzulensek:	Dr. Kaszab Tímea egyetemi adjunktus
	Dr. Baranyai László tanszékvezető, egyetemi tanár
Belső konzulensek intézete/tanszéke:	Élelmiszeripari Méréstechnika és Automatizálás Tanszék
Készítette:	Szijj Zita Viktória

Budai Campus

2024

Tartalomjegyzék

Jelölésjegyzék	2
1. Bevezetés és célkitűzések	3
2. Szakirodalmi áttekintés	4
2.1. Hőtérkép	4
2.2. Hőterjedés formái a sütésnél	5
2.2.1. Sugárzás	5
2.2.2. Kondukción	5
2.2.3. Konvekció	5
2.3. Színvizsgálat	6
2.3.1. CIE Lab színtér	6
2.3.2. Maillard-reakció	6
2.4. Állományvizsgálat	7
2.4.1. A reológia alapjai	7
2.4.2. Precíziós állománymérés	8
2.5. Korábbi kutatási mérések	9
2.5.1. Hőeloszlás	9
2.5.2. Színmérés	13
2.5.3. Állományvizsgálat	14
2.5.4. Porozitás	16
3. Anyagok és módszerek	18
3.1. Felhasznált anyagok	18
3.2. Mérési módszerek	20
3.2.1. Hőmérséklet	20
3.2.2. Szín	20
3.2.3. TPA teszt	21
3.2.4. Porozitás	22
3.2.5. Statisztikai elemzés	22
4. Eredmények és értékelésük	24
4.1. Hőmérséklet	24
4.2. Szín	25
4.2.1. Világossági tényező (L^*)	26
4.2.2. Vörös – zöld színezeti jellemző (a^*)	27
4.2.3. Sárga – kék színezeti jellemző (b^*)	29
4.3. Állományvizsgálat	30
4.3.1. Keménység	30
4.3.2. Kohézió	32
4.3.3. Tapadosság	33
4.3.4. Ruganyosság	35
4.4. Porozitás	36
5. Következtetések és javaslatok	38
6. Összefoglalás	39
7. Irodalomjegyzék	40
8. Ábra- és táblázatjegyzék	44
9. Mellékletek	45
Köszönetnyilvánítás	50

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 és célkitűzések

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 sülték 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.

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

Ezért szakdolgozatom célja volt:

- a téma szakirodalmi körülményeinek, 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.

2. Szakirodalmi áttekintés

Az irodalmi áttekintésemben szeretném elsőként ismertetni a hőtésképezés 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.

2.1. Hőtésképe

A hőtésképe 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. Hőtésképe készítésekor fontos szerepe van még a megfelelő színek megválasztásának is, például ajánlatos kerülni a piros-zöld színek kombinációt, ugyanis ez a színvakok számára korlátozná a hőtésképe 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 végre (Gehlenborg és Wong, 2012).

A hőtésképek jól alkalmazhatók mátrixokba rendezett, bonyolult adathalmazok ábrázolására. Statisztikai hőtésképe 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 színként való megjelenítése, mely lehetővé teszi az adott mintázatok grafikus ábrázolását (Key, 2012).

Hőtésképe 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).

2.2. Hőterjedés formái a sütésnél

2.2.1. 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).

2.2.2. Kondukción

A kondukción, más néven a hővezetés, egy tárgyon belül a szomszédos molekulák közötti vagy az egymással érintkező tárgyak közötti hőenergiát 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 hővesztést (Davidson, 2016).

2.2.3. Konvekcion

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 fűjják, 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 befűjása, hogy a magas hőmérséklet ellenére elkerüljék a felület kiszáradását.

2.3. Színvizsgálat

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

2.3.1. CIE Lab színtér

A CIE Lab színtér három tényezőből áll, melyek a következők: világossági tényező (L^*), értéke 100 (tökéletes fehér) és 0 (tökéletes fekete) között mozog; vörös – zöld jelleg (a^*), a negatív értékek a zöld, míg a pozitív értékek a vörös színárnyalatokat jelölik; sárga – kék jelleg (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:

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

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

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

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).

2.3.2. 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 aminos csoportjai között lejátszódó reakciót jelenti (Gökmen, 2016).

2.4. Állományvizsgálat

2.4.1. 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 alarendszerek. Az elasztikus tulajdonság az élelmiszerekre kevésbé jellemző, inkább fémhuzalok, rugók tulajdonsága. A viszkózus alarendszer 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 megszüntetjük,

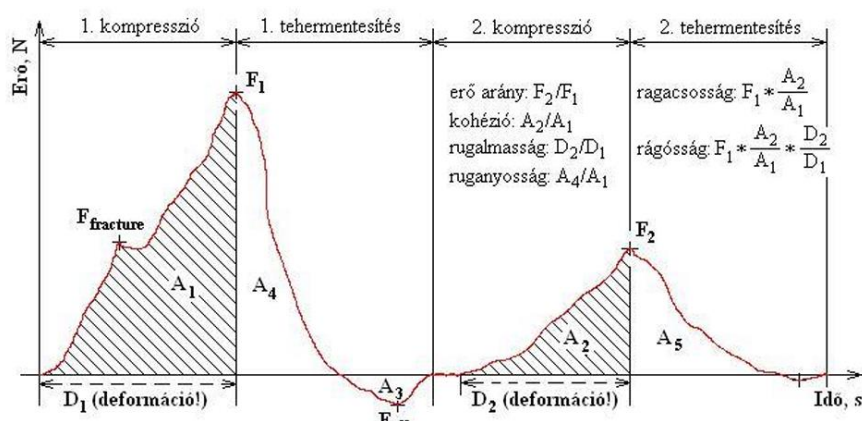
akkor a deformáció mértéke gyorsan csökkenni kezd, de lesz visszamaradó deformáció is (László, 2006b).

2.4.2. Precíziós állománymérés

A kutatás során az állományméréshez különböző állománymérő berendezést alkalmazható, melyhez a 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-, műanyag- 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 értelmezhető, 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 tegyünk, számítással határozható meg a rágási ellenállás és a rugalmasság szorzataként, SI mértékegysége a $N \times mm$, vagyis a mJ (Lambertné Meretei, 2012).

2.5. Korábbi kutatási mérések

2.5.1. 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 sült 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 (Anishaparin és munkatársai, 2010). A fent említett esetben a kutatók egy kísérleti méretű elektromos sütőkemencét alkalmaztak.

Hasonló eredményre jutottak még Tank és munkatársai (2012) is, zsemlek 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 zsemleknek 3-5 perccel több időre volt szükségük ahhoz, hogy készre süljenek. A sütési folyamat során a zsemle 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 zsemle 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 zsemleknek 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, javítható 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 konvektív, 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, kényszerkonvekciós 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 előállításához 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 időre van szüksége a 95 °C hőmérséklet eléréséhez, mint a 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 tésztaába, így nem okoz nagy mértékű tágulást, a második szakaszban azonban a légkeveréses sütőben készült sütemény magasabb százaléku 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 vezetékes 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 sült 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 sült kis kenyerek melegszenek, míg leglassabban a hagyományos kemencében készült nagy kenyerek (Patel és munkatársai, 2005).

2.5.2. 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 színinkkülönbség 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 $110\text{ }^{\circ}\text{C}$. 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 elkészültekor aranybarna lesz, túlsütéskor pedig sötétbarna színt ölt. Ebben a kísérletben a mintákat háztartási elektromos sütőben készítették.

2.5.3. 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 lágyágát 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

keménysege nő, a bélzet megrozkadása következtében. Az mTG tartalmú barna rizs, fehér rizs, és quinoa lisztekből készült kenyerek jobban megörzik a rugalmasságukat, azonban keménységük a kontrollhoz viszonyítva kisebb, 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 mellett a tapadásra voltak még kíváncsiak. Ezeket az értékeket 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 vízvesztés 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 diaszilglicerín-sztearin-zsírsvanyító keverékek felhasználásával készült kekszekkel foglalkozó vizsgálatukban szintén foglalkoztak az eltérő sütési hőmérsékletek állományt befolyásoló tulajdonságaival. A vizsgálatához 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.

Pszudocereáliákból készült liszt felhasználásával készített termékek esetén azt tapasztalhatjuk, hogy az amarántliszttel dúsított termékek keménység értéke magasabb, mint a

kontrollé vagy a hajdinaliszttal 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).

2.5.4. 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 (Packia-Doss és munkatársai, 2019).

Schott és munkatársai (2023) munkássága alapján kijelenthetjük azt is, hogy a porozitás, valamint a helyi falvastagság meghatározható még képfeldolgozós 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 CO₂ 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 szerkezetét 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.

3. Anyagok és módszerek

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

3.1. 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), vaníliás 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 szárítószelekrényt (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 hozzáadtuk 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.

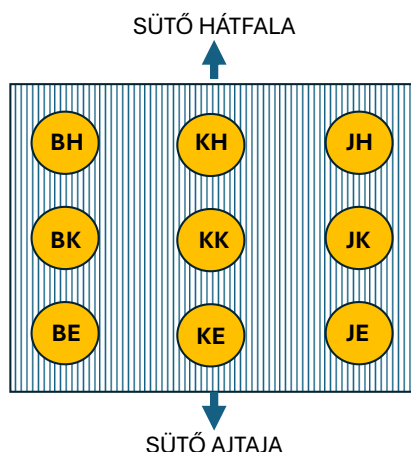
A 27 db szilikonos muffin formába elosztottam a tésztát, majd a talpukat kissé az asztallaphoz ütögetve a levegőbuborékokat eltávolítottam a tésztából, ezt követően a kísérleti tervnek megfelelően elrendeztem őket a sütőben három szinten, a **2. ábra** szerinti módon.

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**):

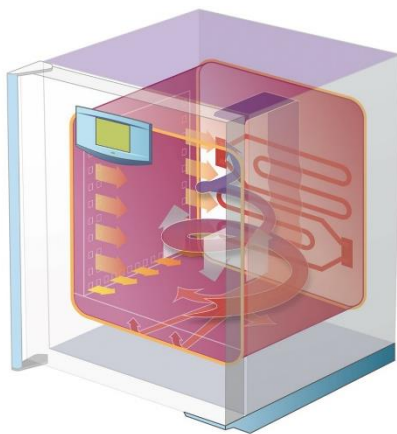
3. ábra Szintenkénti sütési elrendezés a szárítószekrényben (Forrás: saját ábra)



A **3. ábrán** 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-profil 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.

3.2. Mérési módszerek

3.2.1. Hőmérséklet

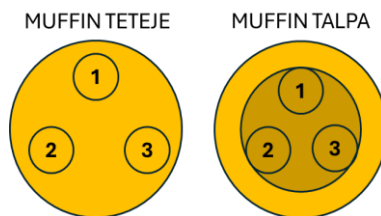
A muffinokat a 160°C hőmérsékletre előmelegített szárítószekrénybe helyezve 30 percen át sütöttem, hogy majd az idő elteltével kivéve őket, szobahőmérsékletűre hűljenek. A kivételt követően azonnal megmértem a muffinok felületi hőmérsékletét egy Solight infravörös hőmérőpisztollyal (Solight Holding s.r.o.,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

3.2.2. 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* - kék-sárga 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)



3.2.3. TPA teszt

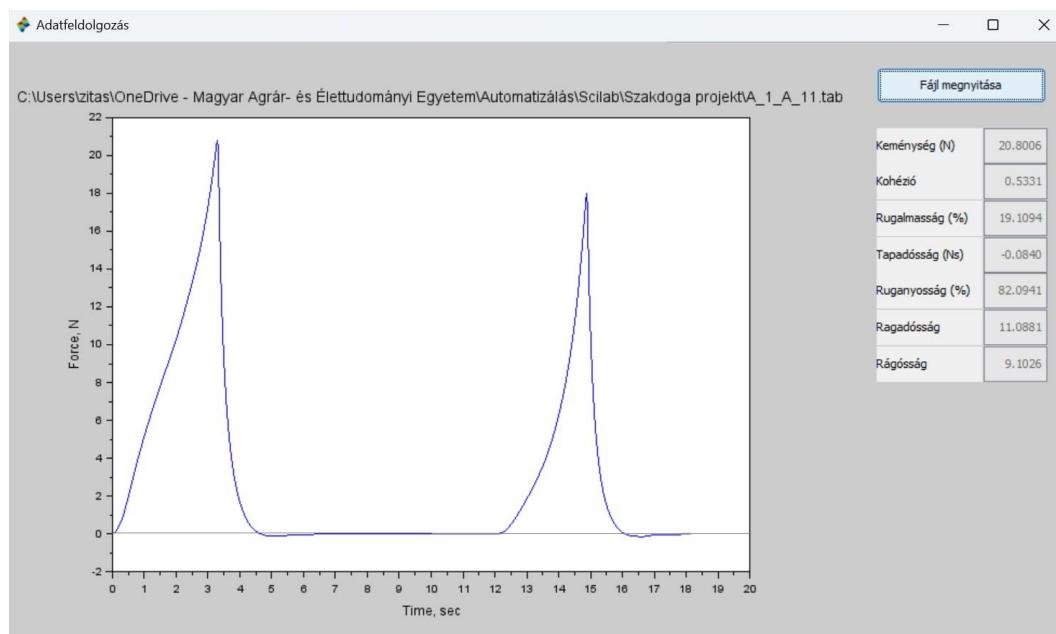
Az SMS állománymérés során TA.XTplus precíziós penetrométer (Stable Micros Systems, Surrey, Anglia) segítségével TPA tesztet, másnéven két harapás tesztet végeztem, melynek során a levágott tetejű muffinok bélzetét vizsgáltam A/BE-d35 típusú akrilkoronggal. A muffinok magasságának 50%-ig nyomtam meg a bélzetet 5 mm/s sebességgel terhelve, ahol a két harapás között eltelt idő 5 s volt. A TPA teszt erő – idő görbájéből meghatározható hét reológiai tulajdonság közül a keménységet (N), a tapadóságot (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 háttérét 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)



3.2.4. Porozitás

A muffinokat a porozitásvizsgálathoz sötétkék karton háttérrel alkalmazva fotóztam le. A fotózás előtt a muffinok tetejét a sütemények talpával párhuzamosan a Stable Micro Systems ikerkéses mintaelőkészítő szeletelő (Stable Micro Systems, Surrey, 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.

3.2.5. 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

feltüntetve 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

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

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

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

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, Games-Howell teszt), IBM SPSS 29.0 statisztikai szoftverrel végeztem.

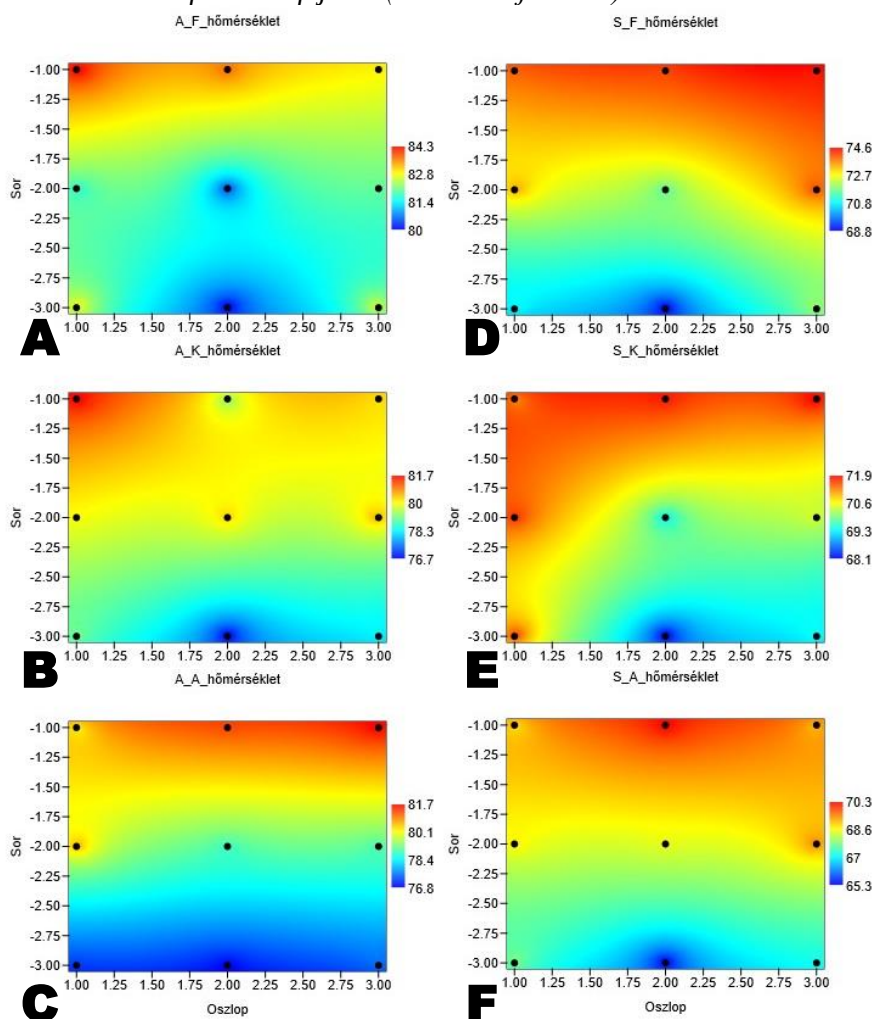
4. Eredmények és értékelésük

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

4.1. 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 EK 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)



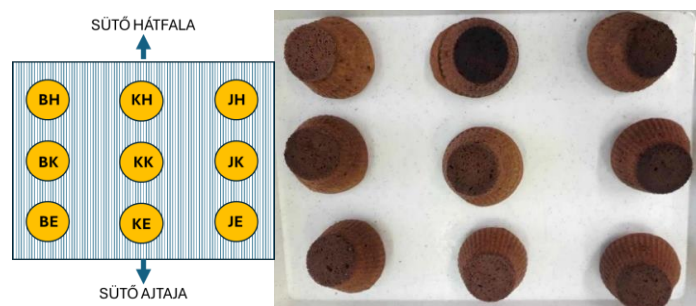
Az almás muffinok esetében (7/A-B-C ábrák) magasabb hőmérsékletet tapasztaltam, ez a tésztában lévő gyümölcsnek köszönhető. A tálcaszinteket összehasonlítva látszik, hogy a felső tálcán volt tapasztalható a legmagasabb hőmérséklet almás és sima muffinnál is.

4.2. 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.

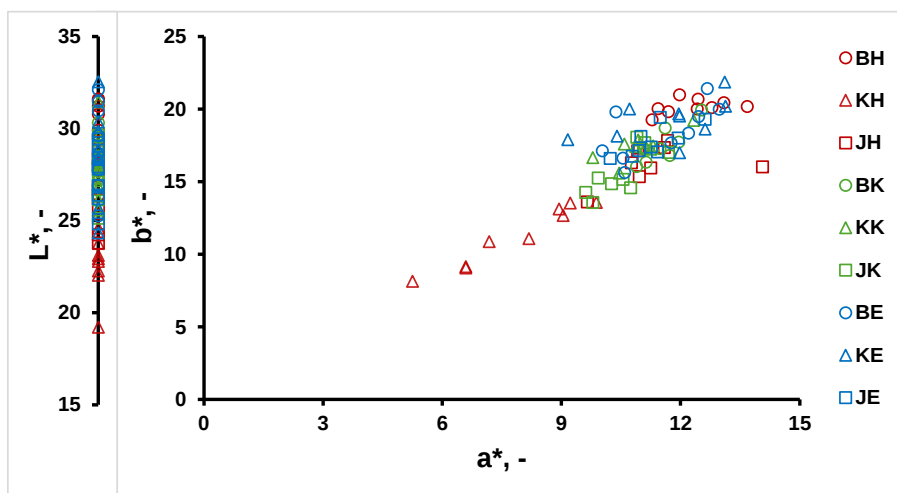
A muffinok talpát vizsgálva azonban már szabad szemmel is meg lehetett figyelni különbségeket. Az alsó tálca esetében több párhuzamos mérésnél is megégett a muffin talpa egyes pozíciókon, ahogyan azt a 8. ábra is szemlélteti.

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.

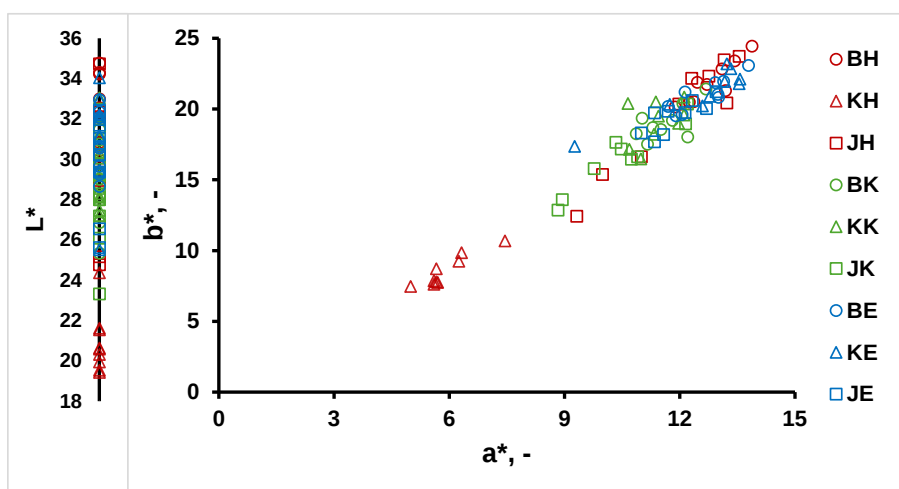
9. ábra Az almás muffinok talpának L^* a^* b^* értékei az alsó tálca esetében (Forrás: saját ábra)



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 talpának $L^*a^*b^*$ értékei az alsó tálca esetében (Forrás: saját ábra)



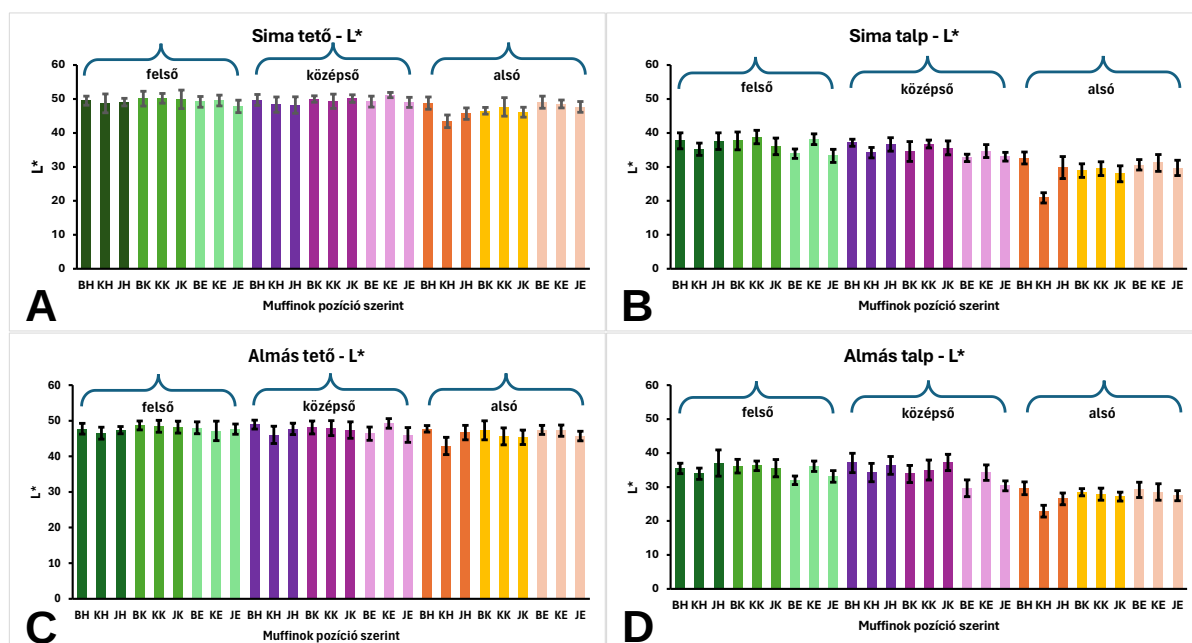
A következőkben szeretném bemutatni a színmérés eredményeit paraméterenként.

4.2.1. 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 feltüntetésével (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)

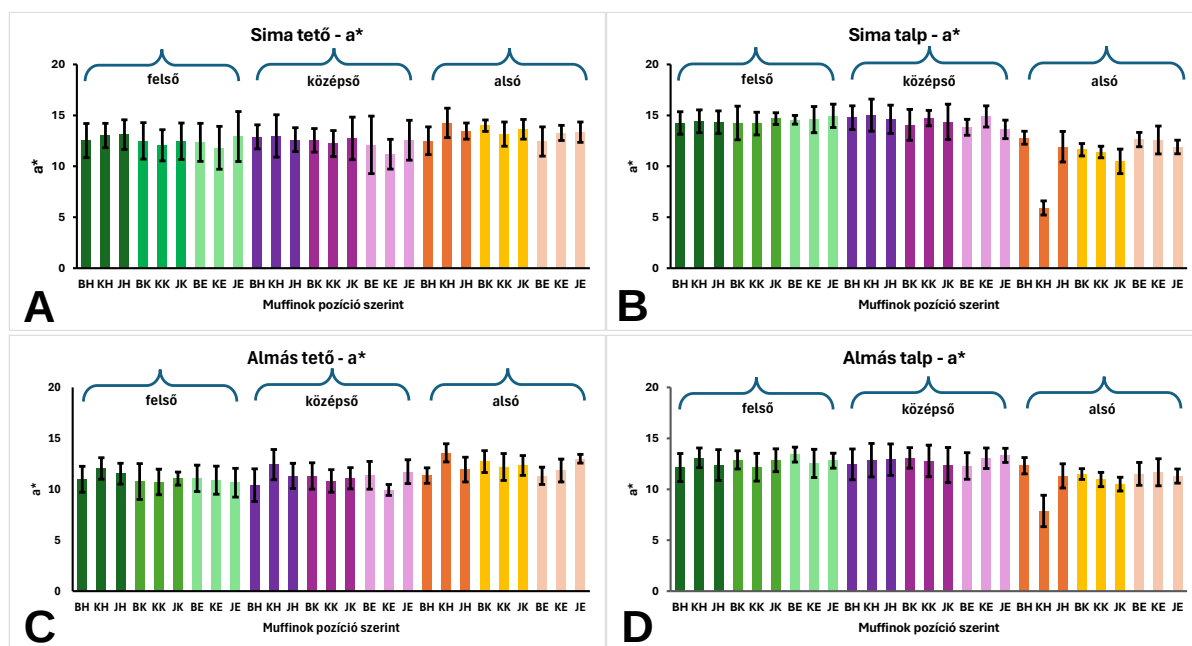
	BH	KH	JH	BK	KK	JK	BE	KE	JE
BH									
KH	+								
JH	+	+							
BK	-	+	-						
KK	-	+	-	-					
JK	-	+	-	-	-				
BE	-	+	-	-	-	-			
KE	-	+	-	-	-	-	-		
JE	-	+	-	-	-	-	-	-	

4.2.2. 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, ráadásul az alsó tálcán megjelenik a pozícionálás hatása, 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 feltüntetésével (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)

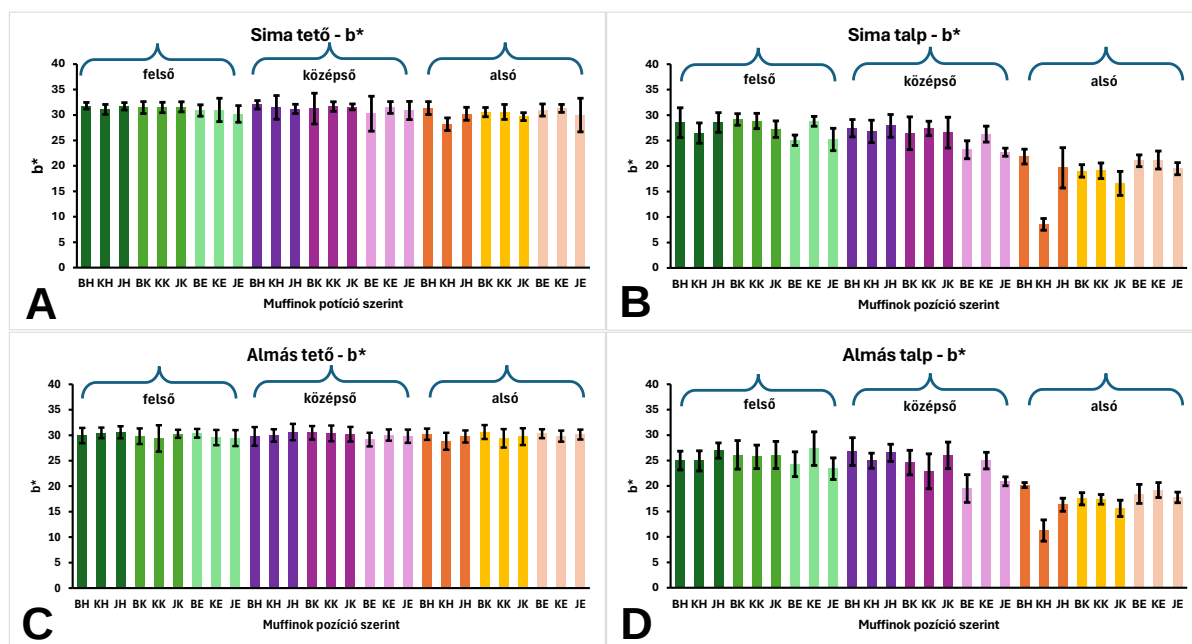
	BH	KH	JH	BK	KK	JK	BE	KE	JE
BH									
KH	+								
JH	-	+							
BK	-	+	-						
KK	-	+	-	-					
JK	+	+	-	-	-				
BE	-	+	-	-	-	-			
KE	-	+	-	-	-	-	-		
JE	-	+	-	-	-	-	-	-	

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.

4.2.3. 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 tapasztaltam 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 lehetnek 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 kék-sárga színezet (b^*) értékei pozíciók szerint a szórás feltüntetésével (Forrás: saját ábra)



A sziginfikáns 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 kék-sárga 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 kék-sárga 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.

4.3. Állományvizsgálat

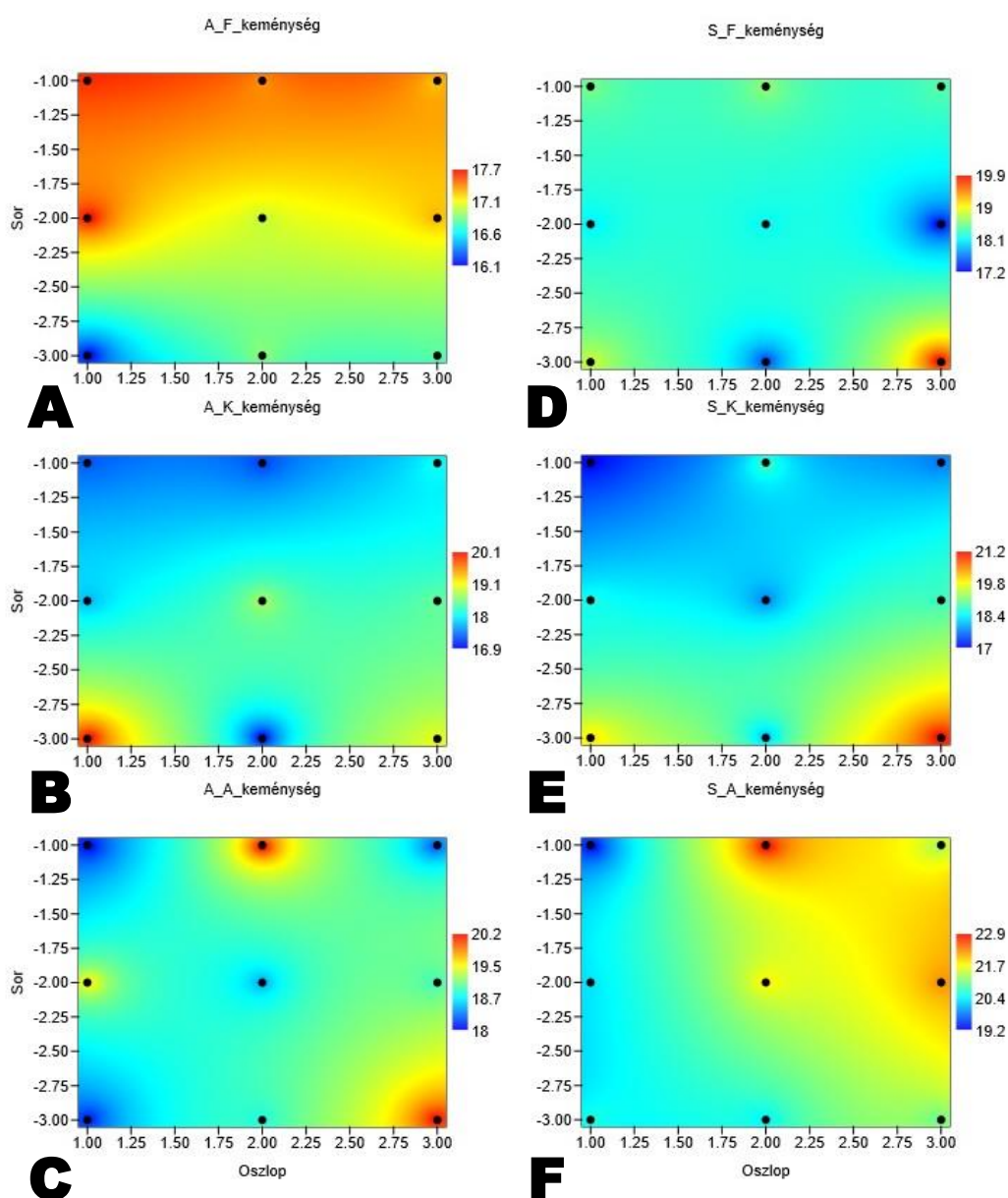
Az állományvizsgálat során az elvégzett TPA teszt kiértékelését követően a keménység, kohézió, tapadosság és ruganyosság paramétereket használtam fel, hogy összehasonlítsam a különböző szinteken és pozíciókban sült sima és almás muffinokat. A kapott eredményeket összehasonlítva szignifikáns különbség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

4.3.1. 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)

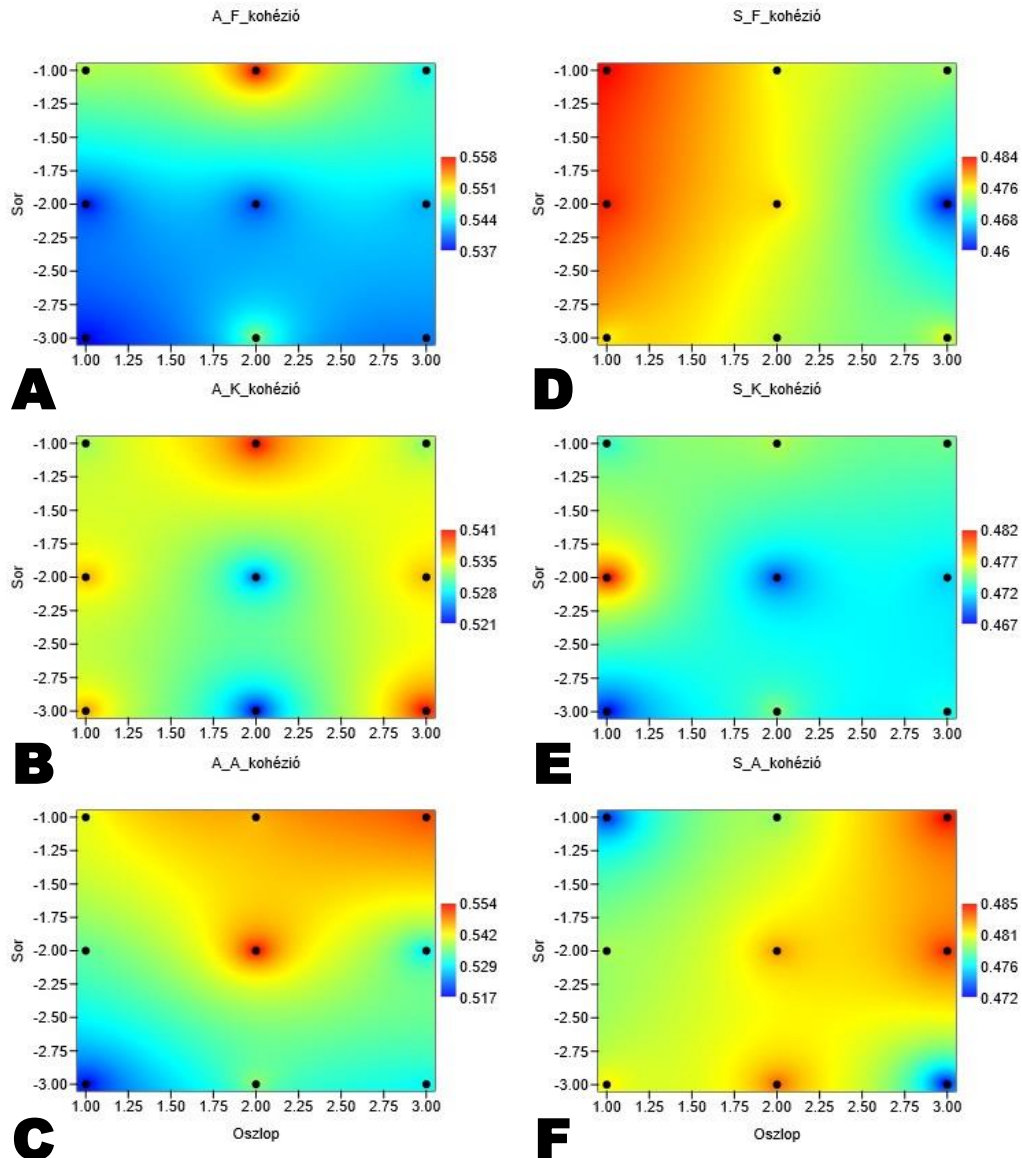


Ha az egyes tálcákon lévő pozíciókat nézzük, akkor az alsó tálca esetében mutatkozik ismét a színmérés paramétereinél már látott KH pont, ahol a legmagasabb a keménység értéke. A sima muffin esetében (*14/F*) inkább egy sarkos eltérés látszik, ahol a KH, JH és JK pontok mutatnak nagyobb keménységet.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

4.3.2. 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**).

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



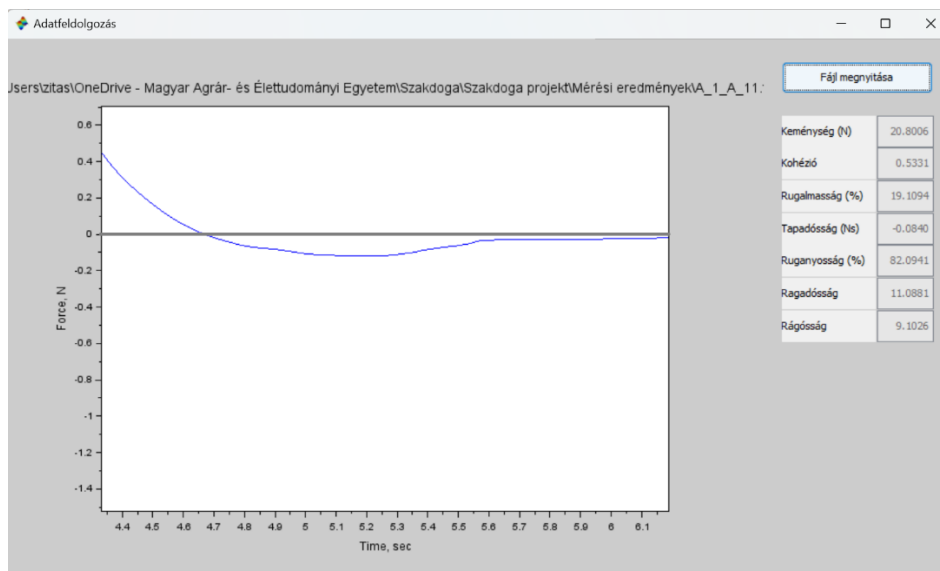
Amíg az almás muffinok (**15/A-B-C ábra**) esetében a hátsó sor mintái mutatták a nagyobb összetartó képességet, a középső tálca esetében bal és jobb oldal mintái is magasabb értéket adtak. A sima muffin esetében azonban a felső tálcán a bal és középső oszlop, míg az alsó tálcán a középső és jobb oldali oszlop mintái mutatták a magasabb összetartó képességet.

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.

4.3.3. Tapadósság

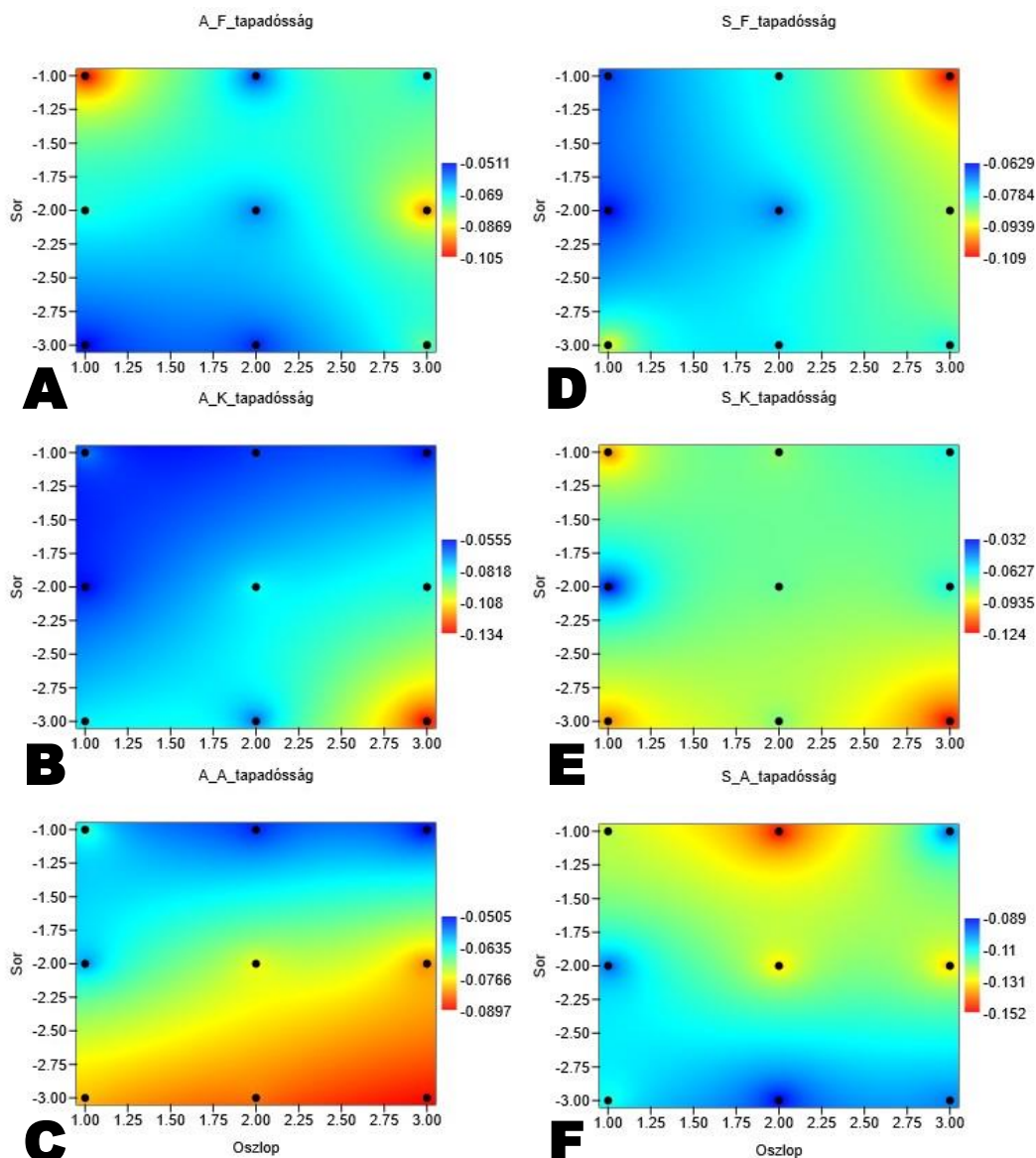
A muffinok tapadósságának abszolútértékei minden párhuzamos és minden pozíció esetében igen alacsonyak voltak. Az értéke nem haladta meg egyik esetben sem a $-0,27$ Ns értéket. Az alacsony tapadósság értékek már a mérési görbét vizsgálva is várhatóak voltak, ugyanis, ahogyan azt a **6. és 16. ábrák** 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 pozícióként.

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)



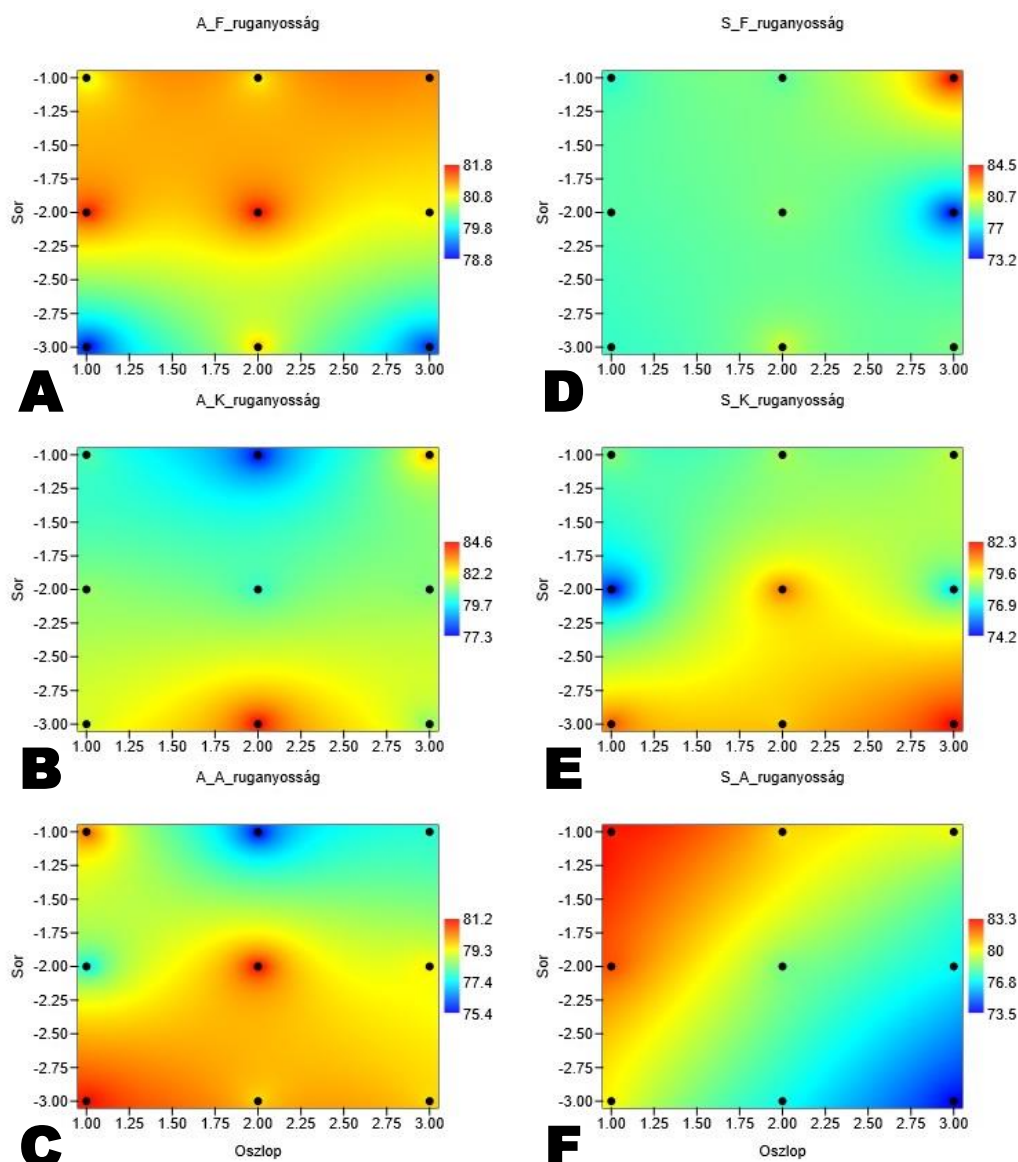
A kapott értékek minél jobban a negatív tartományba mozdulnak el, annál pirosabbak az eloszlási térképek. Sávos elkülönülés figyelhető meg az almás muffinok esetében leginkább a középső és alsó tálcaszinteken (**17/ A és 17/B ábrák**). Az alsó tálcán figyelhető meg ez az eloszlás legerősebben, bár meg 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 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.

4.3.4. 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.

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 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**). 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 tapadosság voltak.

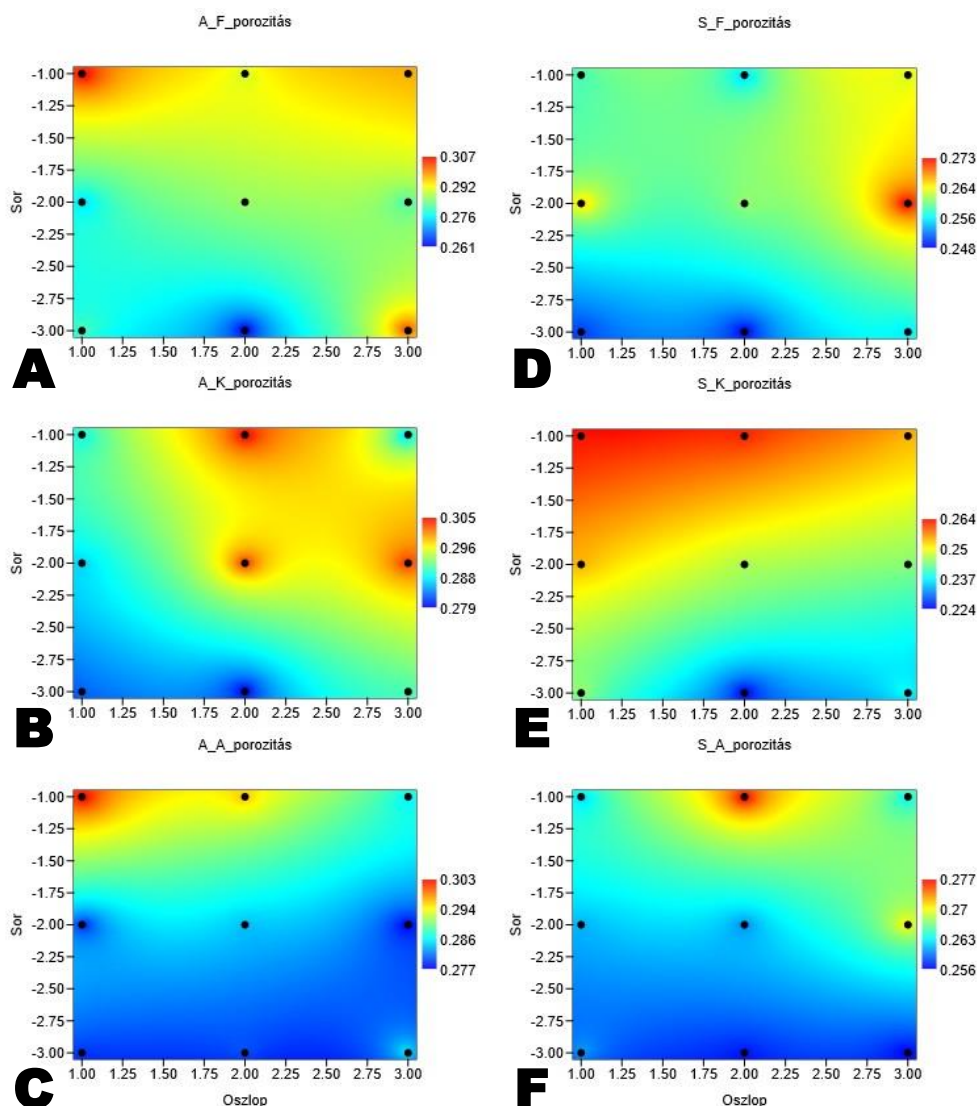
4.4. Porozitás

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 hasonlitos 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**).

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 almához 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.

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



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

5. Következtetések és javaslatok

A mérési eredmények kiértékelése során végzett ANOVA elemzés során kizárólag a színmérés eredményeiben találtam szignifikáns különbségeket. Ennek ellenére a többi vizsgált paraméter esetében is lehetett megfigyelni eltéréseket, melyeket egymással összevetve jó képet kaphattam a hőmérsékleteloszlás okozta eltérésekről, az egyes pozíciókról.

A színmérés esetén minden paraméter és muffin típus esetében szignifikáns eltérés mutatkozott az alsó tálcák KH jelzésű mintája esetében. A keménység, tapadosság és kohézió értékeinek vizsgálatakor szintén megfigyelhető volt ennek a mintának az elkülönülésűlése a többitől. Mindez összhangban van még a sütő hátfala mellett elhelyezett minták kivételkori magasabb hőmérsékletével is.

Fontos megemlítenünk még, hogy az almát tartalmazó muffinok hőmérséklete magasabb volt a simához viszonyítva, mely a tésztában található gyümölcsdarabok eltérő hővezetésének tudható be. A porozitás variációs koefficiens értékének vizsgálatakor a hőmérsékletnél megfigyelthez hasonló eloszlást tapasztaltunk, ami erősítette a korábbi megállapításainkat.

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 Anishaparin és munkatársainak (2010) kenyerekkel végzett kísérletéhez képest a kísérletemben a muffinok az alsó tálcán sülték meg hamarabb, ami sok esetben a talp megégésével járt. Az általuk dokumentált nagy hőmérsékletkülönbségeknek én csupán a töredékét tapasztaltam. A megégett talp keményebbé tette a szerkezetet, ami a keménységértékekben is megmutatkozott. A megégés a tésztában lévő cukorra is hatással lehetett, a bélzet tapadosságát 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.

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 közepén, 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 megfigyelhetők 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 paramétereik közül a legjobban használható paraméterek a kísérlet szempontjából a keménység és a tapadósság voltak.

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 inhomogéennebbnek bizonyult, és magasabb volt a tészta nedvességtartalma is a gyümölcs miatt.

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 soybean oil-based diacylglycerol 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. Szedljk, 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: Csimá, 2015).....	8
2. ábra	A muffinok elrendezése (zöld - F (felső), lila - K (középső), sárga - A (alsó)) (Forrás: saját fotó)	19
3. ábra	Szintenkénti sütési elrendezés a szárítószekrényben (Forrás: saját ábra).....	19
4. ábra	Venticell szárítószekrény működési mechanizmusa (Internet 4)	20
5. ábra	A színérés mérési elrendezése (Forrás: saját ábra).....	21
6. ábra	A hét reológiai paraméter meghatározására készített kód program ablaka (Forrás: saját kép)	22
7. ábra	Az almás és sima muffinok felső, középső és alsó tálcáinak átlagos hőmérsékleteloszlása (Forrás: saját ábra)	24
8. ábra	Példa pozíciómagyarázattal a muffinok talpának megégésére alsó tálcán (Forrás: saját fotó).....	25
9. ábra	Az almás muffinok talpának $L^* a^* b^*$ értékei az alsó tálcá esetében (Forrás: saját ábra).....	25
10. ábra	A sima muffinok talpának $L^* a^* b^*$ értékei az alsó tálcá esetében (Forrás: saját ábra).....	26
11. ábra	A sima és almás muffinok tetejének és talpának átlagos világossági tényező (L^*) értékei pozíciók szerint a szórás feltüntetésével (Forrás: saját ábra).....	27
12. ábra	A sima és almás muffinok tetejének és talpának átlagos vörös-zöld színezet (a^*) értékei pozíciók szerint a szórás feltüntetésével (Forrás: saját ábra).....	28
13. ábra	A sima és almás muffinok tetejének és talpának átlagos kék-sárga színezet (b^*) értékei pozíciók szerint a szórás feltüntetésével (Forrás: saját ábra).....	29
14. ábra	Az almás (felső – A, középső – B, alsó – C) és sima (felső – D, középső – E, alsó – F) szinten sült muffinok átlagos keménység eloszlása newtonban kifejezve (Forrás: saját ábra)	31
15. ábra	Az almás (felső – A, középső – B, alsó – C) és sima (felső – D, középső – E, alsó – F) szinten sült muffinok átlagos kohézió eloszlása (dimenzió mentes érték) (Forrás: saját ábra)	32
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)	33
17. ábra	Az almás (felső – A, középső – B, alsó – C) és sima (felső – D, középső – E, alsó – F) szinten sült muffinok átlagos tapadósságeloszlása Ns-ban (newton secundum) kifejezve (Forrás: saját ábra)	34
18. ábra	Az almás (felső – A, középső – B, alsó – C) és sima (felső – D, középső – E, alsó – F) szinten sült muffinok átlagos ruganyosságeloszlása százalékban kifejezve (Forrás: saját ábra).....	35
19. ábra	Az almás (felső – A, középső – B, alsó – C) és sima (felső – D, középső – E, alsó – F) szinten sült muffinok átlagos variációs koefficiens (CV) eloszlása (dimenziómentes) (Forrás: saját ábra)	37

Táblázatjegyzék

1. táblázat	Felhasznált alapanyag mennyiségek a muffinok elkészítéséhez (Forrás: saját készítés).....	18
2. táblázat	A varianciaanalízis eredménye sima muffin talpának világossági tényezőjére (L^*) az alsó tálcán (Forrás: saját táblázat).....	27
3. táblázat	A varianciaanalízis eredménye almás muffin talpának világossági tényezőjére (L^*) az alsó tálcán (Forrás: saját táblázat).....	27
4. táblázat	A varianciaanalízis eredménye sima muffin talpának vörös-zöld színezeti jellemzőjére (a^*) az alsó tálcán (Forrás: saját táblázat)	28
5. táblázat	A varianciaanalízis eredménye almás muffin talpának vörös-zöld színezeti jellemzőjére (a^*) az alsó tálcán (Forrás: saját táblázat)	28
6. táblázat	A varianciaanalízis eredménye sima muffin talpának kék-sárga színezeti jellemzőjére (b^*) az alsó tálcán (Forrás: saját táblázat)	30
7. táblázat	A varianciaanalízis eredménye almás muffin talpának kék-sárga színezeti jellemzőjére (b^*) az alsó tálcán (Forrás: saját táblázat)	30

9. Mellékletek

Scilab script

```
1 //Texture.Profile.Analysis
2
3 //Create application window
4 f = figure("figure_size", [1000 600], ...
5 ---"figure_name", "Adatfeldolgozás", ...
6 ---"dockable", "off", ...
7 ---"info_bar_visible", "off", ...
8 ---"toolbar_visible", "off", ...
9 ---"menubar_visible", "off", ...
10 ---"default_axes", "on", ...
11 ---"auto_resize", "on");
12
13 //Avoid warning message of function update
14 funcprot(0);
15
16 //Create user interface
17 handles.dummy = 0;
18 handles.ChartFrame = uicontrol(f, ...
19 ---"style", "frame", ...
20 ---"units", "normalized", ...
21 ---"position", [0.0 0.8 1]);
22 handles.pbOpen = uicontrol(f, ...
23 ---"style", "pushbutton", ...
24 ---"string", "Fájl megnyitása", ...
25 ---"units", "normalized", ...
26 ---"position", [0.82 0.9 0.16 0.06], ...
27 ---"callback", "pbOpen(handles)");
28
29 //Data analysis results
30 handles.strHardness = uicontrol(f, ...
31 ---"style", "text", ...
32 ---"string", "Keménység (N)", ...
33 ---"units", "normalized", ...
34 ---"position", [0.82 0.8 0.10 0.06]);
35 handles.edHardness = uicontrol(f, ...
36 ---"style", "edit", ...
37 ---"string", "0", ...
38 ---"enable", "off", ...
39 ---"HorizontalAlignment", "right", ...
40 ---"units", "normalized", ...
41 ---"position", [0.92 0.8 0.06 0.06]);
42
43 handles.strCohesion = uicontrol(f, ...
44 ---"style", "text", ...
45 ---"string", "Kohézió", ...
46 ---"units", "normalized", ...
47 ---"position", [0.82 0.74 0.10 0.06]);
48 handles.edCohesion = uicontrol(f, ...
49 ---"style", "edit", ...
50 ---"string", "0", ...
51 ---"enable", "off", ...
52 ---"HorizontalAlignment", "right", ...
53 ---"units", "normalized", ...
54 ---"position", [0.92 0.74 0.06 0.06]);
55
56 handles.strResilience = uicontrol(f, ...
57 ---"style", "text", ...
58 ---"string", "Rugalmasság (%)", ...
59 ---"units", "normalized", ...
60 ---"position", [0.82 0.68 0.10 0.06]);
61 handles.edResilience = uicontrol(f, ...
62 ---"style", "edit", ...
```

```

63 ..... "string", "0", .....
64 ..... "enable", "off", .....
65 ..... "HorizontalAlignment", "right", .....
66 ..... "units", "normalized", .....
67 ..... "position", [0.92 0.68 0.06 0.06]);
68
69 handles.strAdhesivness = uicontrol(f, .....
70 ..... "style", "text", .....
71 ..... "string", "Tapadósság (Ns)", .....
72 ..... "units", "normalized", .....
73 ..... "position", [0.82 0.62 0.10 0.06]);
74 handles.edAdhesivness = uicontrol(f, .....
75 ..... "style", "edit", .....
76 ..... "string", "0", .....
77 ..... "enable", "off", .....
78 ..... "HorizontalAlignment", "right", .....
79 ..... "units", "normalized", .....
80 ..... "position", [0.92 0.62 0.06 0.06]);
81
82 handles.strSpringiness = uicontrol(f, .....
83 ..... "style", "text", .....
84 ..... "string", "Ruganyosság (%)", .....
85 ..... "units", "normalized", .....
86 ..... "position", [0.82 0.56 0.10 0.06]);
87 handles.edSpringiness = uicontrol(f, .....
88 ..... "style", "edit", .....
89 ..... "string", "0", .....
90 ..... "enable", "off", .....
91 ..... "HorizontalAlignment", "right", .....
92 ..... "units", "normalized", .....
93 ..... "position", [0.92 0.56 0.06 0.06]);
94
95 handles.strGumminess = uicontrol(f, .....
96 ..... "style", "text", .....
97 ..... "string", "Ragadósság", .....
98 ..... "units", "normalized", .....
99 ..... "position", [0.82 0.5 0.10 0.06]);
100 handles.edGumminess = uicontrol(f, .....
101 ..... "style", "edit", .....
102 ..... "string", "0", .....
103 ..... "enable", "off", .....
104 ..... "HorizontalAlignment", "right", .....
105 ..... "units", "normalized", .....
106 ..... "position", [0.92 0.5 0.06 0.06]);
107
108 handles.strChewiness = uicontrol(f, .....
109 ..... "style", "text", .....
110 ..... "string", "Rágósság", .....
111 ..... "units", "normalized", .....
112 ..... "position", [0.82 0.44 0.10 0.06]);
113 handles.edChewiness = uicontrol(f, .....
114 ..... "style", "edit", .....
115 ..... "string", "0", .....
116 ..... "enable", "off", .....
117 ..... "HorizontalAlignment", "right", .....
118 ..... "units", "normalized", .....
119 ..... "position", [0.92 0.44 0.06 0.06]);
120
121
122 //Set default values
123 handles.FName = "";
124 handles.myData = zeros(1,3);

```

```

125
126 //
127 // Functions
128 //
129
130 // Open text data file
131 function pbOpen(handles)
132     [FileName, PathName, FilterIndex] = uigetfile(['*.tab|*.TAB|*.txt|*.TXT|*.csv|*.CSV', '-ASCII-text-file-(tab, .txt, .csv)']);
133     if FilterIndex == 0 then
134         ... messagebox("No file was selected.", "Error", "error", "modal");
135         return;
136     end
137     tmp = csvRead(fullfile(PathName, FileName), 'ascii(9)', ' ', 'double', [], [], [], 4);
138     handles.FName = fullfile(PathName, FileName);
139     handles.myData = tmp;
140     // Show chart
141     ShowChart(handles);
142     // Save for global use
143     handles = resume(handles);
144 endfunction
145
146 // Make figure of selected slice
147 function ShowChart(handles)
148     tmp = handles.myData;
149     // Data names
150     dnames = ['Force, -N' 'Penetration depth, -mm' 'Time, -sec'];
151     // Drawing functions
152     myaxes = newaxes(handles.ChartFrame);
153     clf(handles.ChartFrame);
154     // Type selection
155     XD = tmp(:, 3);
156     YD = tmp(:, 1);
157     plot(XD, YD);
158     xlabel(dnames(3));
159     ylabel(dnames(1));
160     title(handles.FName);
161     // Show calculated values
162     Calculations(handles);
163     // Save for global use
164     handles = resume(handles);
165 endfunction
166
167 // Data analysis
168 function Calculations(handles)
169     tmp = handles.myData;
170     // x-y data selection
171     xd = tmp(:, 3);
172     yd = tmp(:, 1);
173     // Starting point
174     z0 = 1;
175     x0 = xd(z0);
176     y0 = yd(z0);
177     printf("x0 = %.3f s\n", x0);
178     printf("y0 = %.4f N\n", y0);
179     // Zero-1
180     i = 2;
181     while i < length(yd) - 1
182         if yd(i) >= 0.001 && yd(i+1) < 0.001 then
183             x2 = xd(i);
184             y2 = yd(i);
185             z2 = i;
186             break;
187         end
188     end

```

```

20 --end
21 --i = i + 1;
22 end
23 printf("x2=-%.3f-s\n",x2);
24 printf("y2=-%.4f-N\n",y2);
25 printf("z2=-%d\n",z2);
26 //Zero.2
27 i = z2 + 1;
28 while i < length(yd)
29 --if yd(i) < y0 && yd(i+1) >= y0 then
30 ---- x3 = xd(i);
31 ---- y3 = yd(i);
32 ---- z3 = i;
33 ---- break;
34 --end
35 --i = i + 1;
36 end
37 printf("x3=-%.3f-s\n",x3);
38 printf("y3=-%.4f-N\n",y3);
39 printf("z3=-%d\n",z3);
40 //Zero.3
41 i = z3 + 1;
42 while i < length(yd) --1
43 --if yd(i) >= 0.001 && yd(i+1) < 0.001 then
44 ---- x5 = xd(i);
45 ---- y5 = yd(i);
46 ---- z5 = i;
47 ---- break;
48 --end
49 --i = i + 1;
50 end
51 printf("x5=-%.3f-s\n",x5);
52 printf("y5=-%.4f-N\n",y5);
53 printf("z5=-%d\n",z5);
54 //First compression maximum hardness
55 i = 1;
56 m1 = zeros(length(z2),1);
57 while i < z2
58 --m1(i) = yd(i);
59 --y1 = max(m1);
60 --i = i + 1;
61 end
62 handles.edHardness.string = sprintf("%.4f",y1);
63 printf("y1=-%.4f-N\n",y1);
64 //x1 = xd(yd==y1);...this-worked-as-well-for-some-reason
65 z1 = find(yd == y1);
66 x1 = xd(z1);
67 printf("x1=-%.3f-s\n",x1);
68 //Second compression maximum
69 i = z3;
70 m2 = zeros(length(yd),1);
71 while i < z5
72 --m2(i) = yd(i);
73 --y4 = max(m2);
74 --i = i + 1;
75 end
76 printf("y4=-%.4f-N\n",y4);
77 z4 = find(yd == y4);
78 x4 = xd(z4);
79 printf("x4=-%.3f-s\n",x4);
80 //Area calculations
81 //A1

```

```

82 xdl = xd(xd <= x1);
83 m3 = zeros(length(xdl),1);
84 for i = 2 : length(xdl)
85     m3(i) = ((yd(i) + yd(i-1)) / 2) * (xd(i)-xd(i-1));
86 end
87 A1 = sum(m3);
88 printf("A1 = %.4f-Ns\n",A1);
89 // A2
90 L2 = (xd >= x1) & (xd <= x2);
91 xd2 = xd(L2);
92 yd2 = yd(L2);
93 m4 = zeros(length(xd2),1);
94 for i = 2 : length(xd2)
95     m4(i) = ((yd2(i) + yd2(i-1)) / 2) * (xd2(i)-xd2(i-1));
96 end
97 A2 = sum(m4);
98 printf("A2 = %.4f-Ns\n",A2);
99 // A3
100 L3 = (xd >= x3) & (xd <= x4);
101 xd3 = xd(L3);
102 yd3 = yd(L3);
103 m5 = zeros(length(xd3),1);
104 for i = 2 : length(xd3)
105     m5(i) = ((yd3(i) + yd3(i-1)) / 2) * (xd3(i)-xd3(i-1));
106 end
107 A3 = sum(m5);
108 printf("A3 = %.4f-Ns\n",A3);
109 // A4
110 L4 = (xd >= x4) & (xd <= x5);
111 xd4 = xd(L4);
112 yd4 = yd(L4);
113 m6 = zeros(length(xd4),1);
114 for i = 2 : length(xd4)
115     m6(i) = ((yd4(i) + yd4(i-1)) / 2) * (xd4(i)-xd4(i-1));
116 end
117 A4 = sum(m6);
118 printf("A4 = %.4f-Ns\n",A4);
119 // A5 - adhesivness
120 L5 = (xd >= x2) & (xd <= x3);
121 xd5 = xd(L5);
122 yd5 = yd(L5);
123 m7 = zeros(length(xd5),1);
124 for i = 2 : length(xd5)
125     m7(i) = ((yd5(i) + yd5(i-1)) / 2) * (xd5(i)-xd5(i-1));
126 end
127 printf("A5 = Tapadósság = %.4f-Ns\n",sum(m7));
128 handles.edAdhesivness.string = sprintf("%.4f",sum(m7));
129 // Calculating cohesion
130 Co = (A3 + A4) / (A1 + A2);
131 printf("Cohesion = %.4f-\n",Co);
132 handles.edCohesion.string = sprintf("%.4f",Co);
133 // Calculating resilience
134 Re = (A2 / A1) * 100;
135 printf("Resilience = %.4f-%%\n",Re);
136 handles.edResilience.string = sprintf("%.4f",Re);
137 // Calculating springiness
138 Sp = (x4 - x3) / (x1 - x0) * 100;
139 printf("Springiness = %.4f-%%\n",Sp);
140 handles.edSpringiness.string = sprintf("%.4f",Sp);
141 // Calculating gumminess
142 Gu = y1 * Co;
143 printf("Gumminess = %.4f-\n",Gu);
144 handles.edGumminess.string = sprintf("%.4f",Gu);
145 // Calculating chewiness
146 Ch = Gu * (Sp / 100);
147 printf("Chewiness = %.4f-\n",Ch);
148 handles.edChewiness.string = sprintf("%.4f",Ch);
149 // Save for global use
150 handles = resume(handles);
151 endfunction
319

```

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 segítettek egyetemi tanulmányaimat és e szakdolgozat létrejöttét.

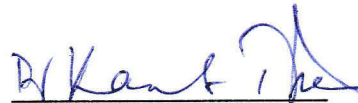
NYILATKOZAT

Szijj Zita Viktória (hallgató Neptun azonosítója: **039VQW**) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot¹ áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*3}

Kelt: Budapest, 2024. november 4.



belső konzulens
Dr. Kaszab Tímea

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendő.

³ A megfelelő aláhúzendő.

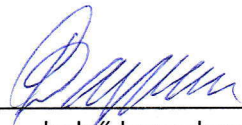
NYILATKOZAT

Szijj Zita Viktória (hallgató Neptun azonosítója: **O39VQW**) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot⁴ áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom⁵.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*6}

Kelt: Budapest, 2024. november 4.



belső konzulens
Dr. Baranyai László

⁴ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

⁵ A megfelelő aláhúzendő.

⁶ A megfelelő aláhúzendő.

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: SZILY ZITA VIKTÓRIA
A Hallgató Neptun kódja: 039VQW
A dolgozat címe: HŐMÉRSÉKLETELOSZLÁS HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA A MUFFINOK
REOLÓGIAI TULAJDONSÁGAIRA
A megjelenés éve: 2024
A konzulens intézetének neve: ÉLELMISZERTUDOMÁNYI ÉS TECHNOLÓGIAI INTÉZET
A konzulens tanszékének a neve: ÉLELMISZERIPARI MÉRÉSTECHNIKA ÉS AUTOMATIZÁLÁS TANSZÉK

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemitulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumába. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után

nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumában.

Kelt: 2024 év november hó 03 nap



Hallgató aláírása