

SZAKDOLGOZAT

Ecseri Flóra



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

**Tücsökliszttel dúsított és hagyományos piskóták
szerkezeti tulajdonságainak vizsgálata különböző sütési
eljárások alkalmazásával**

Belső konzulens:	dr. Szedljak Ildikó Egyetemi adjunktus
Belső konzulens intézete/tanszéke:	Gabona és Iparnövény Technológia Tanszék
Készítette:	Ecseri Flóra

Budai Campus
2025

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzések	2
2. Szakirodalmi áttekintés	3
2.1. A piskóta, mint cukrászati termék	3
2.1.1. Tojás funkciója (habképzés, térfogat, kötőképeség)	3
2.1.2. Cukor hatása a szerkezetre és a barnulására	4
2.1.3. Liszt és keményítő szerepe a térfogat- és textúrakialakulásban	5
2.1.4. Sütőpor és a térszalazítás szerepe.....	6
2.2. Alternatív fehérje, a tücsökliszt	6
2.3. Hagyományos sütési eljárás.....	8
2.3.1. A hőátadás formái sütés közben (vezetés, sugárzás, konvekció).....	8
2.3.2. Sütési paraméterek hatása (hőmérséklet, idő, páratartalom)	9
2.3.3. A sütés során végbemenő fizikai és kémiai változások	9
2.4. A gőzölés technológiája és élelmiszeripari alkalmazása	12
2.5. Gőzölés és hagyományos sütés kombinálásáról szóló kutatások	12
3. Anyag és Módszer	14
3.1. Felhasznált receptúrák	14
3.1.1. Főbb műveleti lépések	15
3.2. Vizsgálati módszerek.....	16
3.2.1. Reológiai vizsgálat.....	16
3.2.2. Buborékméret meghatározás.....	17
3.3. Alkalmazott sütők technológiai ismertetője	17
3.3.1. Gőzsütő	17
3.3.2. Hagyományos sütő.....	18
4. Eredmények és kiértékelésük	19
4.1. Buborékméret analízis	19
4.2. Texture Analyser mérési eredményei	24
4.3. Rugalmasságváltozás vizsgálat.....	26
4.4. A négy receptúra összehasonlítása	34
5. Következtetések	38
6. Összegzés	40
7. Irodalomjegyzék.....	42
8. Ábrajegyzék	45
9. Táblázatjegyzék.....	45

1.Bevezetés és célkitűzések

Az élelmiszerelőállítás technológiai az utóbbi évtizedekben jelentős fejlődésen mentek keresztül, a hagyományos módszerek mellett számos korszerű megoldás jelent meg. Az ipari sütők fejlődése szorosan összefügg az élelmiszeripar technológiai modernizációjával és a termelékenységi igények növekedésével. A 20. század elején megjelentek az első gázüzemű ipari sütők, amelyek már szabályozottabb hőkezelést biztosítottak, azonban kezdetben még természetes konvekcióval működtek, így a sütőtérben gyakran alakult ki egyenetlen hőeloszlás. A légcsatornák alkalmazása fokozatosan javította a hőkeringést, majd az elektromos energia elterjedése lehetővé tette a ventilátoros légkeverést, amely áttörést hozott a sütéstechnológiában. Az utóbbi évtizedekben ugyanakkor újra előtérbe kerültek olyan régi, de hatékony hőkezelési technológiák is, mint például a gőzölés, amely bár ősi módszer, ipari szintű alkalmazása csak a 20. század második felétől kezdve terjedt el.

A piskóta, mint könnyű, levegős szerkezetű, tojásalapú cukrászati termék megfelelő termék a különböző hőkezelési eljárások hatásainak vizsgálatához és modellezéséhez. Állaga, textúrája, buborékossága és eltarthatósága nagymértékben függ a sütési paraméterektől és a hő közegétől. Míg a hagyományos sütés során a száraz hő hatására jellegzetes kéregképződés és vízvesztés történik, addig a gőzölés során a nedves hő megőrzi a termék nedvességtartalmát, ami más típusú szerkezeti változásokat eredményezhet, a két módszer kombinálása pedig lehetőséget ad arra, hogy a kívánt állag és eltarthatóság optimalizálása érdekében a különböző eljárások előnyei egyesüljenek.

A szakdolgozat célja annak vizsgálata, hogy a hagyományos sütési eljárás, a gőzölés, valamint a kettő kombinációja milyen hatással van a piskóta tésztaminóságára, állagára, textúrájára, buborékosságára és eltarthatóságára. A kutatás során kísérleti úton kerül sor a három különböző hőkezelési mód alkalmazására, négy különböző receptúra mellett. Elemzésre kerül a piskóták szerkezeti egyenletessége, buborékeloszlása és a tárolás során bekövetkező minőségváltozás is. A dolgozatom célja továbbá, hogy bemutassa az eltérő hőkezelési eljárások okozta különbségeket, illetve, hogy rávilágítson a gőzölés és a kombinált sütés esetleges előnyeire a termék állományának megőrzése szempontjából. Az eredmények hozzájárulhatnak a sütési technológiák fejlesztéséhez, valamint iránymutatást adhatnak a háztartási és ipari gyakorlat számára egyaránt. A kutatás során nyert tapasztalatok segíthetik olyan modern, és a fogyasztói igényeknek jobban megfelelő eljárások kidolgozását, amelyekkel javítható a pékáruk és sütemények textúrája, eltarthatósága, miközben csökkenthető a minőségromlás.

2. Szakirodalmi áttekintés

Az alábbi fejezet célja, hogy megalapozza a primer kutatás elméleti hátterét, valamint átfogó képet nyújtson a témához kapcsolódó legfontosabb szakirodalmi forrásokról, kutatásokról és technológiai ismeretekről annak érdekében, hogy szakszerű elméleti és módszertani alapot biztosítson a további kutatásomhoz. Az áttekintés során számos releváns témát említettem, többek között a felhasznált nyersanyagok tulajdonságait, az alkalmazott technológiai eljárásokat, valamint a műveletek során lejátszódó folyamatokat. Ezen szempontok vizsgálata lehetővé teszi, hogy a kutatás során készült termékek eredményeit értékelhessem.

2.1. A piskóta, mint cukrászati termék

A hagyományőrző cukrászati termékekre vonatkozó minőségi és összetételi követelményeket a Magyar Élelmiszerkönyv 1-3/17-1 számú előírása tartalmazza, amely a 2008. évi XLVI. törvény 66. § (1) bekezdése alapján került megalkotásra. Az alábbi előírás szerint a piskóta vagy piskótafelvert: „kerek, szögletes vagy lap formájú, számtalan kiegészítő járulékos anyaggal ízesíthető, búzaliszt, cukor és tojás felhasználásával készült tészta, amelyet tojásfehérjehabbal lazítanak”. Az egyes összetevők mind hatással vannak a tészta kialakulásának folyamatára, hiszen az íz kialakításon kívül fontos technológiai szereppel is rendelkeznek.

2.1.1. Tojás funkciója (habképzés, térfogat, kötőképesség)

A tojás a piskóták egyik legfontosabb funkcionális összetevője, mivel több technológiai szerepet is betölt a tésztaképzés és a sütés folyamata során. A tojás két fázisa a fehérje és a sárgája különböző összetételüknél fogva eltérő funkciót töltenek be a cukrászati alkalmazásokban. A tojásfehérje kémiai összetételét a magas víztartalom és a zsírtartalom szinte teljes hiánya jellemzi. Fehérjetartalma általában 12-13% közötti. A legnagyobb mennyiségben előforduló fehérjekomponense az ovalbumin (tojásalbumin), amely vízben oldódó, egyszerű fehérje. Az ovalbumin jelentős mértékben hozzájárul a tojásfehérje alacsony felületi feszültségéhez, ami lehetővé teszi annak könnyű habosíthatóságát. Ezt a fizikai-kémiai tulajdonságot az élelmiszeripar és a sütőipar széles körben hasznosítja, különösen habos, levegővel lazított tészták és desszertek előállítása során. (Martonné Volf & Hidasi, 2019) Ezzel szemben a tojássárgája összetételét mintegy 50%-os víztartalom és több mint 30%-os lipidtartalom jellemzi. A benne található lipidek gátolják a habképződést, mivel felületükön megkötik a habképzéshez szükséges ovalbumin molekulákat, ezáltal akadályozzák a stabil habstruktúra kialakulását. Emiatt a tojásfehérje és -sárgája precíz elválasztása kulcsfontosságú a piskótatészták és más habos készítmények előállítása során. A tojássárgája zsírolékony komponensei közé tartozik többek között a lecitin, a karotin és a koleszterin, amelyek

táplálkozásélettani szempontból is jelentősek. A tojássárgája fehérjetartalma átlagosan 16% körüli, ami kiegészíti a tojásfehérje fehérjének funkcionális szerepét az élelmiszeripari felhasználás során. (Martonné Volf & Hidasi, 2019) A tojásfehérje elsősorban a habképzésért és a hab stabilizálásáért felelős, ami alapvető a piskóták jellegzetes levegős, szivacsos szerkezetének kialakulásához. A fehérjék képesek levegőt megkötni és stabil habot alkotni, amely a sütés során a fehérjék denaturálódásával rögzül. A tojássárgája ezzel szemben összetételéből adódóan emulgeáló, színező, ízesítő és kötő tulajdonságokat biztosít, elősegítve a víz- és zsírfázis egységes eloszlását, így homogénebb tésztaszerkezetet eredményez. A tojás tehát mind a térfogatnövelés, mind a szerkezetstabilizálás szempontjából kulcsszerepet tölt be és a felferése során kialakuló „hab-típusú” tészta adja a klasszikus piskóták levegős állagát. (Inanlar & Altay, 2024) Kutatásuk eredményeként bebizonyították, hogy a magasabb fehérjetartalmú tojások (alacsonyabb víztartalommal párosulva) alacsonyabb tésztasűrűséget, és jobb levegőmegtartó képességet eredményeztek, melynek következtében a sütés után ezekből a mintákból nagyobb térfogatú, strukturáltabb piskóták készültek.

2.1.2. Cukor hatása a szerkezetre és a barnulására

A cukrászipar nyersanyagai alap- és járulékos anyagokra oszthatók, amelyek közül a cukor az alapanyagok közé tartozik. (Martonné Volf & Hidasi, 2019) Már kis mennyiségű cukor hozzáadása is elősegíti, hogy a tészta sütés közben gyorsabban barnuljon és aranyszínűt kapjon, ami azért történik, mert a szacharóz egy karamellizálódó cukorféle. A folyamat háttérben két, nem enzimatis kémiai reakció áll: a Maillard-reakció és a karamellizáció. (Kovácsné Kálmár, 2025)

2.1.2.1. Maillard-reakció és karamellizáció

A sütés közben kialakuló barna kéreg, valamint a jellegzetes íz- és aromaprofil kialakulása döntően két nem-enzimatis kémiai folyamatnak köszönhető: a Maillard-reakciónak és a karamellizációnak. Ezek párhuzamosan zajlanak, eltérő mechanizmus alapján, és a sütési körülmények határozzák meg, hogy melyik folyamat kerül előtérbe.

A Maillard-reakció a redukáló cukrok és aminosavak kölcsönhatásán alapszik, és a kenyérhéj barnulásának, valamint az összetett aromajegyek kialakulásának egyik legfontosabb forrása. Martins és munkatársai (2001) átfogó vizsgálata szerint a folyamat több, egymást követő szakaszból áll, amelyek során a nyers tészta fokozatosan alakul át olyan terméké, amelynek színe, illata és íze a fogyasztói élmény szempontjából meghatározó. A szerzők hangsúlyozzák, hogy a reakció intenzitását és kimenetelét elsősorban a tészta összetevői, sütőtér hőmérsékleti tartománya és a nedvességtartalom szabja meg. Magasabb hőmérséklet mellett a reakció

felgyorsul, míg a nedvességtartalom túlzott mértéke lassítja a folyamatot az összetevők hígulása miatt.

A megfelelő hőprofil és páratartalom beállítása tehát nemcsak a kéreg színintenzitását határozza meg, hanem közvetlenül hozzájárul a végtermék aromáihoz és érzékszervi minőségéhez is. A Maillard-reakció így egyszerre tekinthető kívánatos technológiai folyamatnak, amely növeli a termék élvezeti értékét és potenciális kockázati tényezőnek is, mivel bizonyos körülmények között nemkívánatos melléktermékek például akrilamid is képződhet. Emiatt a modern sütéstechnológiák célja a reakció tudatos szabályozása, hogy annak előnyös hatásai érvényesüljenek, miközben a káros komponensek képződése minimalizálható. (Martins, Jongen, & Boekel, 2001)

A karamellizáció ezzel szemben a cukrok, elsősorban a glükóz és fruktóz hő hatására bekövetkező bomlása, amely vízmentes környezetben megy végbe. Zamora és Hidalgo (2005) szerint a folyamat során a cukrok először dehidratálódnak és izomerizálódnak, majd különböző aldehidek, savak, illékony aromák és végül nagymolekulájú karamellpigmentek képződnek. Ezek a vegyületek adják a termék jellegzetes barna színét és karamelles ízét. A szerzők hangsúlyozzák, hogy a karamellizáció jellemzően magasabb hőmérsékleten (200°C felett) válik dominánssá, ezért inkább a sütés későbbi szakaszában indul meg. A pH-érték szintén meghatározó tényező: savas közegben és enyhén lúgos közegben eltérő szín- és aromaprofilok jönnek létre, ami a különböző pékáruk héjszínének sokféleségét is magyarázza.

A két folyamat kapcsolatát Capuano és Fogliano (2011) vizsgálta részletes analitikai megközelítéssel. Eredményeik arra mutatnak rá, hogy a Maillard-reakció és a karamellizáció nem teljesen különálló folyamatok, mivel bizonyos pontokon összeérnek, és egyes aromakomponensek, valamint színanyagok mindkét mechanizmusból származhatnak. Ez a felismerés különösen fontos a sütéstechnológia gyakorlatában, hiszen a barnulási reakciók szabályozása nem csupán a hőmérséklet beállításán múlik, hanem a nyersanyagösszetétel például cukor- és fehérjetartalom és a sütőtér páratartalmának optimalizálása is elengedhetetlen.

2.1.3. Liszt és keményítő szerepe a térfogat- és textúrakialakulásban

A piskóták szerkezetének és térfogatának kialakulásában a liszt keményítő- és fehérjetartalma alapvető szerepet játszik. A sütés során a folyékony tészta fokozatosan szilárd, pórusos szerkezetű süteménnyé alakul, amelyet a keményítő csirizesedése és a fehérjék koagulációja idéz elő. Mindkét folyamat növeli a tészta viszkozitását, rögzíti a beépített levegőbuborékokat, és ezzel meghatározza a késztermék térfogatát és morzsaszerkezetét. (Wilderjans, és mtsai., 2010)

A keményítő az elcsirizedés során vizet vesz fel és duzzadni kezd, így kialakítja a tészta belső szerkezetének alapvázát, miközben csökkenti a tészta folyékonyságát. A folyamat általában 60-75°C között megy végbe, és döntő a végső szerkezet stabilizálásában. Ha a zselatinizáció nem teljes, a sütemény térfogata kisebb és bélzete egyenetlen. (Wilderjans et al, 2013)

A textúra kialakulásában továbbá a búzaliszt fehérjéi, elsősorban a gliadin és glutenin, meghatározó szerepet töltenek be. Ezek a fehérjék a keverés és sütés során denaturálódnak, majd térhálós szerkezetet hoznak létre, amely stabilizálja a tésztában kialakult légcellákat, ezáltal hozzájárul a térfogat megtartásához és a bélzet egyenletességéhez. A mérsékelt fehérjeaggregáció elősegíti a rugalmas, jól levegőzött szerkezet kialakulását, ugyanakkor a túlzott denaturáció vagy erős gluténháló a gázbuborékok összeeséséhez és sűrűbb, keményebb textúrához vezethet. A fehérjék hőhatásra bekövetkező szerkezeti átrendeződése és glutenin-polimerizációja döntően befolyásolja a sütés közbeni szerkezetstabilizálást és a kész piskóta minőségét. (Liu, és mtsai., 2013)

Összességében a keményítő biztosítja a piskóta szerkezetének alapját, míg a liszt és a tojás fehérjéi együtt felelnek a térfogat és a textúra stabilizálásáért. Az optimális eredményhez a keményítő fokozatos csirizedése és a fehérjék szabályozott koagulációja szükséges. (Wilderjans, és mtsai., 2010)

2.1.4. Sütőpor és a tésztalazítás szerepe

A kelesztés, más néven lazítás, a sütőipari technológia egyik alapvető folyamata, amely jelentős szerepet játszik a tészták állagának és szerkezetének kialakításában. A folyamat során levegő vagy szén-dioxid jut a tésztába, amely a hő hatására kitágul, ezáltal a tészta térfogata megnő, szerkezete pedig könnyűvé és laza szerkezetűvé válik. Lazítás hiányában a hagyományosan levegős pékáruk sűrű, nehéz állagú termékekké válnának. A lazítást előidéző anyagokat tésztalazító szereknek nevezzük, amelyek működési elvük alapján három fő csoportba sorolhatók: biológiai, kémiai, valamint fizikai vagy mechanikai tésztalazítók. (Neeharika , Suneetha, Kumari, & Tejashree, 2020) A sütőpor kémiai lazítószer, amely a sütés során elbomlik, miközben szén-dioxid (CO₂) szabadul fel, ezáltal a tészta térfogata megnő és lazább, levegősebb lesz. Fő hatóanyaga a nátrium-hidrogén-karbonát, amely sav hatására bomlik. A sütőpor emellett különböző foszfátvegyületeket is tartalmaz, például monokalcium-foszfátot, amely fokozza a szén-dioxid felszabadulását és növeli a térfogatot, valamint nátrium-pirofoszfátot, amely a savanyúságot szabályozza. (Martonné Volf & Hidasi, 2019)

2.2. Alternatív fehérje, a tücsökliszt

Az entomofágia, vagyis az ehető rovarok fogyasztása az utóbbi évtizedben a tudományos és élelmiszeripari érdeklődés középpontjába került, elsősorban potenciális

táplálkozás-élettani és fenntarthatósági előnyei miatt. (van Huis, és mtsai., 2013) A rovarfogyasztás globális elterjedésének három fő indoka kerül említésre az irodalomban: egészségügyi, környezeti, valamint társadalmi-gazdasági szempontok.

Az ehető rovarok egyre jelentősebb szerepet töltenek be a fenntartható táplálkozás és az alternatív fehérjeforrások kutatásában, mivel magas tápértékű és biológiailag jól hasznosuló fehérjét biztosítanak. Tang és munkatársai (2019) összefoglaló tanulmányukban rámutatnak, hogy az ehető rovarok nyersfehérje-tartalma 40-75% között mozog, továbbá mikrotápanyagok tekintetében is értékesek, mivel számos faj jelentős mennyiségben tartalmaz vasat, cinket, káliumot, foszfort és magnéziumot. Zsírösszetételük táplálkozás-élettani szempontból kedvező, mivel többszörösen telítetlen zsírsavakat is tartalmaznak, köztük omega-6 (linolsav) és omega-3 (α -linolénsav) zsírsavakat, amelyek szerepet játszanak a szív- és érrendszeri betegségek megelőzésében. (Tang, és mtsai., 2019)

A FAO (2013) beszámolója szerint környezeti szempontból a rovaralapú fehérjetermelés jelentősen kisebb ökológiai terheléssel jár, mint a hagyományos állattenyésztés, mivel a rovartenyésztés során alacsony a metán- és ammóniakibocsátás, és az előállítás kevesebb természeti erőforrást igényel. A rovarok kiemelkedő takarmány-átalakítási hatékonysággal rendelkeznek, mivel hidegvérű szervezetek lévén a bevitt energia nagyobb részét képesek testtömeg-gyarapodássá alakítani; például a házi tücsök (*Acheta domesticus*) akár tizenkettedannyi takarmánnyal előállítja ugyanazt a fehérjemennyiséget, mint a szarvasmarha. Emellett a rovartenyésztés minimális területigényű, valamint szerves melléktermékeken és élelmiszeripari hulladékokon is megvalósítható, ezáltal hozzájárul a hulladékcsökkentéshez és a körforgásos gazdasági modellhez. (van Huis, és mtsai., 2013)

Az ehető rovarok tenyésztése nem csupán környezeti és táplálkozási előnyökkel jár, hanem jelentős társadalmi-gazdasági hatásokkal is bír, különösen a fejlődő régiókban. Aguilar-Toalá és munkatársai (2025) szerint a rovartenyésztés ígéretes stratégia a szegénység csökkentésére, mivel megélhetési lehetőséget biztosít leginkább azok a háztartások számára, akik az alacsony és közepes jövedelmű országokban élnek. Továbbá rámutattak arra, hogy a rovaralapú gazdasági tevékenység egyre növekvő ágazat, ami munkalehetőségeket teremt, mint a városban, mind a vidéki környezetben. Mivel a rovarok alacsony költséggel és helyi erőforrásokból előállíthatók, különösen fontos szerepet tölthetnek be az élelmiszer-biztonság és a vidékfejlesztés támogatásában. (Aguilar-Toalá, Vidal-Limón, & Licega, 2025)

A házi tücsök (*Acheta domesticus*) az egyik legelterjedtebben vizsgált ehető rovarfaj, amely kiemelkedő tápértékkel rendelkezik, ezért megfelelő alternatív fehérjeforrás az élelmiszeripar számára. Udomsil és munkatársai (2019) vizsgálata szerint a házi tücsök fehérjetartalma 60-

70% között mozog szárazanyag formában, amely kifejezetten magasnak tekinthető az állati eredetű fehérjékhez viszonyítva. Emellett teljes értékű fehérjének számít, mivel az összes esszenciális aminosavat tartalmazza, az esszenciális aminosavak aránya pedig eléri a 42,7%-ot az összes aminosavtartalmon belül.

A rovarfehérje élelmiszeripari felhasználása alkalmas lehet a tojás funkcionális tulajdonságainak részleges vagy teljes helyettesítésére sütőipari termékekben. Talens és munkatársai (2022) kevert fehérjeforrásokat (borsó-, kendermag- és rovarliszt) alkalmaztak piskóta készítés során, és megállapították, hogy tej- és tojásmentes piskóta előállítása is lehetséges anélkül, hogy jelentős különbségek lennének megfigyelhetők a másik állati fehérjével készül piskótamintáktól. (Talens, Lago, Simó-Boyle, Odriozola-Serrano, & Ibargüen, 2022) A szerzők szerint a tücsökliszt hozzáadása különösen hozzájárult a szerkezetstabilitáshoz és térfogatnövekedéshez, amely a tojás emulgeáló és habképző szerepét helyettesítette.

2.3. Hagyományos sütési eljárás

2.3.1. A hőátadás formái sütés közben (vezetés, sugárzás, konvekció)

A sütés során a tésztát hőhatás éri, amely a következő fő hőátadási mechanizmusokon keresztül történik: vezetés (kondukción), hőszállítás (konvekción) és sugárzás (radiáción). A hagyományos sütőberendezések általában forró levegő áramlását, azaz a konvekciót és a sütőfalakról érkező sugárzást kombinálják, míg professzionális berendezések a hőmérséklet-eloszlás optimalizálására különböző légáramoltatási rendszereket alkalmaznak. (Yadav & Jain, 2024) A sütés egy másik szakirodalomban egyszerre zajló hő- és anyagátadási folyamatként (simultaneous heat and mass transfer, SHMT) értelmezett jelenség, amely pórusos közegben játszódik le. A folyamat során a hőenergia bejut a tésztába, miközben párhuzamosan vízmozgás, párolgás és diffúzió is végbemegy. (Purlis, 2011) Ez a meghatározás világosan rámutat arra, hogy a sütés során nem csupán hőközlésről van szó, hanem az anyagtranszfer (vízmozgás) is szorosan kapcsolódik a termék szerkezetének alakulásához. Purlis (2011) szerint a sütés során a hőátadás több mechanizmus együttes hatására megy végbe. A kondukción (hővezetés) révén a hő a tészta felszínéről fokozatosan a belső rétegek felé terjed, ami biztosítja a bélzet egyenletes átsülését. Ezzel párhuzamosan a konvekción (hőáramlás) során a forró sütőlevegő adja át a hőt a termék felületének, miközben elősegíti a nedvesség elpárolgását és a héjképződést. A folyamat harmadik eleme a sugárzás (radiáción), amikor a sütő falai és fűtőelemei infravörös sugárzás formájában adják le a hőt, amely különösen a héj színének és állagának kialakulásában játszik meghatározó szerepet. A három hőátadási mód együttes működése biztosítja a sütési folyamat komplexitását és a végtermék jellegzetes minőségi tulajdonságait. A hőátadás sebességét alapvetően a sütőtér hőmérséklete, a hőátadási

együttható, valamint a vizsgált termék geometriai paraméterei határozzák meg. (Purlis, 2012) E tényezők együttes hatása szabja meg, hogy a hő milyen ütemben és milyen mértékben képes a tészta belső rétegeibe penetrálni, továbbá, hogy a vízpárolgás mely ponton indul meg. Ez a jelenség meghatározó a héjképződés dinamikájában és a bélzet végső szerkezeti tulajdonságainak alakulásában.

2.3.2. Sütési paraméterek hatása (hőmérséklet, idő, páratartalom)

A sütési folyamat során a hőmérséklet, az időtartam, valamint a légáramlás és páratartalom együttesen határozzák meg a végtermék fizikai, kémiai és érzékszervi tulajdonságait. E tényezők optimális beállítása kulcsfontosságú a tészták megfelelő szerkezetének, állagának és eltarthatóságának biztosításához. (Kriston-Pócsik, 2008) Zakuan Azmi és munkatársai (2019) kísérletükben igazolták, hogy a sütési hőmérséklet és idő jelentősen befolyásolja a piskóták térfogatnövekedését, nedvességtartalmát, színét és textúráját. A vizsgálat szerint a magasabb sütési hőmérséklet csökkentette a nedvességtartalmat, növelte a termék keménységét és a kéreg színintenzitását, míg az alacsonyabb hőmérséklet, hosszabb idejű sütéssel kombinálva, egyenletesebb morzsaszerkezetet és kedvezőbb állagot eredményezett. A légáramlás (konvekció) szintén kulcsfontosságú tényező, mivel javítja a hőátadást, egyenletesebb hőeloszlást biztosít a sütőtérben, és ezáltal csökkenti a sütési időt. Hasonló eredményre jutott Shahapuzi és munkatársai (2014), akik a sütőtér különböző pontjain mért hőmérséklet-profilok (a sütőfalhoz közeli és a központi zóna) alakulását, valamint a légáramlás hatását vizsgálták a tésztaminőségre. Eredményeik szerint a légáramlás körülbelül 75%-kal csökkentette a hőmérsékletingadozást a sütőtérben, és gyorsabb hőpenetrációt biztosított a tészta belsejébe, ami 5-10%-kal növelte a térfogatnövekedést és a porozitást. Ugyanakkor a fokozott hőátadás miatt a kéregfelületen nagyobb mértékű nedvességvesztés következett be. A kutatás rámutatott arra, hogy a sütés közbeni hő- és anyagátadás mértéke, valamint a sütési hőmérséklet emelkedése közvetlenül befolyásolja a szerkezeti változásokat például a pórusméretet, a szilárdságot és a késztermék minőségét.

Összegzésként megállapítható, hogy a sütési paraméterek, elsősorban a hőmérséklet, az idő és a légáramlás meghatározó szerepet játszanak a piskóta szerkezetének és nedvességtartalmának alakulásában. A magasabb hőmérséklet gyorsabb kéregképződést és vízvesztést idéz elő (Zakuan Azmi, Taip, Mustapa Kamal, & Chin, 2019), míg a megfelelő légáramlás csökkenti a hőmérsékletingadozást, ezáltal javítja a térfogatnövekedést és a szerkezeti egyenletességet. (Shahapuzi, Taip, Aziz, & Ahmedov, 2014)

2.3.3. A sütés során végbemenő fizikai és kémiai változások

A tészta sütése közben folyamatosan a bélzetben és felületen zajló fizikai és kémiai átalakulások mennek végbe. Ezek a folyamatok döntően a hőmérséklet fokozatos emelkedésének hatására történnek meg, és a tészta szerkezetének, térfogatának, állományának és színének kialakulását eredményezik. (Dr. Lakatos, 2013)

Az élelmiszerek közül a tészta különösen összetett szerkezetű rendszer, mivel több, egymással szorosan kapcsolódó alkotórészből épül fel. Mechanikai vagy hőenergia hatására ezek a polimerek keresztkötéseket hoznak létre, amelyek inter- és intramolekuláris kölcsönhatások révén kialakítják a tészta makroszkopikus szerkezetét. A búzatészta fő komponensei a keményítőszemcsék, a gluténfehérjék, a lipidek és az arabinoxilánok. Ezen anyagok tulajdonságai nagyban függenek a termesztési, betakarítási és feldolgozási körülményektől, ezért funkcionális viselkedésük is változatos lehet. A komponensek között létrejövő kölcsönhatások a tészta rugalmas és viszkózus jellemzőiben is tükröződnek, amelyek dinamikus reológiai mérésekkel vizsgálhatók. (Rosell & Foegeding, 2007) A Brandner, Becker és Jekle (2022) által közölt tanulmány a glutén polimerei a keményítő felszínén különböző kémiai és fizikai kötések révén, például hidrogénhidak, diszulfid-hidak és hidrofób kölcsönhatások útján kapcsolódnak és ez a kapcsolat döntő szerepet játszik a tészta hálós szerkezetének kialakulásában. A szerzők hangsúlyozzák, hogy a keményítő felszínén található fehérjék és lipidek aktívan részt vesznek a gluténmátrix stabilizálásában, ezáltal befolyásolják a tészta gázmegtartó képességét és szerkezeti integritását a sütés során, ezzel befolyásolva a végtermék textúráját. Sütés közben a fehérjék a hő hatására elveszítik eredeti, felcsavart szerkezetüket: a köztük lévő gyengébb kötések például hidrogénkötések felbomlanak, a láncok kinyílnak, majd új kapcsolatok alakulnak ki. Ez a denaturáció és az azt követő összekapcsolódás (gélesedés, koaguláció) adja a tészta szilárd vázát, vagyis ettől áll össze a sütemény és a kenyér bélzete. A folyamat mértékét a fehérje típusa, a hőmérséklet és az idő határozza meg: a tojásfehérje különösen érzékeny, ezért például piskótákban gyorsan megszilárdítja a szerkezetet. (Yadav & Jain, 2024)

Összegzésként megállapítható, hogy a búzatészta szerkezetének és technológiai tulajdonságainak alapját a gluténfehérjék és a keményítő közötti összetett kölcsönhatások adják. A glutén polimerjei hidrogén-, diszulfid- és hidrofób kötések révén rugalmas, mégis stabil hálózatot hoznak létre, amely meghatározza a tészta viszkoelasztikus viselkedését, gázmegtartó képességét és szerkezeti integritását. Ennek köszönhetően a glutén központi szerepet tölt be a sütés során kialakuló végtermék textúrájának és minőségének formálásában. A kutatások tehát egyértelműen rámutatnak arra, hogy a glutén a tészta szerkezetkialakításának kulcsfontosságú eleme, amely meghatározó szerepet játszik a sütési folyamat során létrejövő

fizikai, kémiai és érzékszervi tulajdonságok kialakulásában. (Rosell & Foegeding, 2007; Brandner, Becker & Jekle, 2022; Yadav & Jain, 2024)

2.3.3.1. Bélzetben lejátszódó folyamatok

A keményítő granulátumok duzzadása és csirizesedése 60-80 °C körül indul meg. (Kadam, Tiwari, & O'Donnell, 2015) A fehérjék a hő hatására denaturálódnak és koagulálnak, aminek következtében elveszítik eredeti, rugalmas szerkezetüket. A denaturáció során a fehérjék térszerkezete felbomlik, és a korábban megkötött víz egy része felszabadul. Ez a változás jelentősen hozzájárul a tészta szilárdulásához és szerkezeti stabilizálódásához, mivel a gluténváz mechanikai tulajdonságai megváltoznak. (Mesta-Corral, Gómez-García, Balagurusamy, Torres-Leon, & Hernandez-Almanza, 2024) Ezzel egyidőben a keményítőszemcsék megkezdik vízfelvételüket és duzzadásukat, majd bekövetkezik a zselésedés (csirizesedés) folyamata. A hő és a víz hatására a keményítő szerkezete részlegesen felbomlik, az amilóz és amilopektin láncok rendezetlensége nő, ami kocsonyás, rugalmas mátrix kialakulásához vezet. A keményítő vízfelvétele és zselésedése a tészta szerkezetét szilárdná, ugyanakkor rugalmas állagúvá teszi, megszüntetve a nyers tészta jellegét. (Wang & Copeland, 2013)

A 80-99°C közötti szakaszban lezajlik a keményítő teljes elcsirizesedése, miközben a víztartalom fokozatosan csökken. A termék belsejében a hőmérséklet általában nem haladja meg a 99°C-ot, mivel a termék bélzete még átsült állapotban is tartalmaz vizet. A bélzet hőmérséklete mindaddig nem haladhatja meg a 100°C-ot, amíg szabad víz van jelen, mivel a hőenergia döntő része a víz párolgására fordítódik. sütés végére a tészta belsejének víztartalma általában 42-46% között alakul, ekkor a belső szerkezet véglegesen kialakul. (Kovácsné Kálmár, 2025)

2.3.3.2. Felületen lejátszódó folyamatok

A bélzettel párhuzamosan a termék felszínén is folyamatos fizikai és kémiai változások mennek végbe. 100 °C-ig a felszínen ugyanazok a folyamatok zajlanak, mint a bélzetben, például a víz elpárolgása, a fehérjék denaturációja és a keményítő elcsirizesedése, azonban ezek sokkal intenzívebb sebességgel történnek. 100-140 °C között a felszín fokozatosan kiszárad, a nedvesség a tészta belseje felé diffundál, miközben a kiszáradó keményítő csirizből dextrinek képződnek, amelyek a sárgás-barnás elszíneződésért felelősek. 150 °C-on megkezdődik a karamellizáció, a 2.1.2.1-es fejezetben említettek szerint a cukrok hő hatására történő bomlása és átalakulása, amely barna színű, jellegzetes íz- és illatanyagokat eredményez. 150 és 180 °C között lezajlik a Maillard-reakció, a 2.1.2.1-es fejezetben ismertetett redukáló cukrok és aminosavak közötti nem-enzimatisz barnulási folyamat, amely során melanoidinek keletkeznek, tovább fokozva a felszín barnulását és az aroma kialakulását. 180°C felett

megindul a szerves anyagok pirolízise (elszenesedése), ami a túlzott sötétedésen túl kellemetlen, égett íz megjelenéséhez is vezethet. (Kovácsné Kálmár, 2025)

2.4. A gőzölés technológiája és élelmiszeripari alkalmazása

A gőzölés technológiáját számos szakirodalom tárgyalja, melyek túlnyomó többsége az ázsiai régióból származik, mivel maga a technológia is ezen a területen alakult ki és terjedt el. Huang és Miskelley (2018) szerint a gőzölt péksütemények előállítása több szempontból hasonlít a nyugati kenyérfélék gyártásához, például, hogy búzaliszttel és élesztővel készülnek, ugyanakkor a döntő különbség abban rejlik, hogy a tésztát nem sütik, hanem gőzölik. Mivel a termékek nem esnek át magas hőmérsékletű sütésen, nem alakul ki kéreg és nem megy végbe a Maillard-reakció, így a gőzölt kenyér világos színű marad. A késztermékre jellemző a vékony, fehér, sima és enyhén fényes felület, valamint a belső szerkezet, amely a sűrűbbtől a lazább állományig terjedhet a helyi fogyasztói igényeknek megfelelően.

Egy másik, a kínai gőzölt kenyér minőségét vizsgáló kísérletben Rubenthaler, Huang és Pomeranz (1990) különböző receptúrákat és feldolgozási paramétereket elemeztek annak érdekében, hogy az optimális technológiai feltételeket meghatározhassák. Az eredmények szerint a nagyobb fehérjetartalmú lisztek javították a gőzölt kenyér térfogatát és puhaságát, míg a túl magas hamutartalmú vagy alacsony fehérjetartalmú lisztek rontották a szerkezetet. A vizsgálat megerősítette, hogy a fehérje mennyisége és minősége döntő szerepet játszik a gőzölt kenyér textúrájának és érzékszervi tulajdonságainak kialakításában. (Rubenthaler, Huang, & Pomeranz, 1990) További kutatások a keményítő és a glutén kapcsolatát vizsgálták gőzölés során. Zhu és munkatársai (2020) kimutatták, hogy a glutén-keményítő arány alapvetően meghatározza a gőzölt pékáruk szerkezetét és textúráját. A magasabb gluténtartalom sűrűbb és összefüggőbb fehérjehálót alakít ki, amely javítja a vízmegtartást és a tészta rugalmasságát, ezáltal puhább terméket eredményez. Ugyanakkor a glutén nagyobb vízabszorpciós képessége korlátozza a keményítő vízhez való hozzáférését, ezáltal gátolja annak csirizesedési folyamatát, és mérsékli a keményítő kristályszerkezetének kialakulását. A gőzölés közbeni hő és nedvesség hatására a gluténháló megszilárdul, a keményítő pedig elcsirizesedik, ami együtt hozza létre a gőzölt kenyér jellegzetesen puhább és rugalmasabb textúráját, amely eltér a sült kenyerekétől.

2.5. Gőzölés és hagyományos sütés kombinálásáról szóló kutatások

Az utóbbi években a sütéstechnológiai kutatások középpontjába került a gőzölés és a hagyományos sütés kombinálása, amelyet elsősorban a sütőipari termékek minőségének javítása és az akrilamid képződés csökkentése érdekében alkalmaznak. A kombinált sütéstechnológia lényege, hogy a sütés folyamata páras és száraz hő együttes alkalmazásával zajlik. Az alkalmazott gőz a tészta felületén gátolja a gyors kiszáradást, ezáltal késlelteti a

kéregképződést, ami lehetővé teszi a szerkezet további tágulását és javítja a térfogatnövekedést (Mondal & Datta, 2008)

A gőz jelenléte emellett magasabb felületi nedvességtartalmat tart fenn, ami csökkenti a kéreg hőmérsékletét a sütés kritikus szakaszában, így lassítja a Maillard-reakciók beindulását, amelyek közvetlenül kapcsolódnak az akrilamid képződéséhez (Ahrné, Andersson, Floberg, Rosén, & Lingnert, 2006)

Ahrné és munkatársai mérései szerint a gőz injektálása a sütés első 5-15 percében akár 40-60%-kal csökkentette az akrilamid mennyiségét a teljesen konvekciós sütéshez képest, miközben a termék kéregszíne továbbra is elfogadható maradt. Hasonló eredményekről számoltak be Isleroglu és munkatársai (2012) kekszek sütése során: a gőzöléssel kombinált sütés alacsonyabb Barnulási Indexet (BI) és szignifikánsan alacsonyabb akrilamidszinteket eredményezett, különösen 165°C-on, összehasonlítva a természetes és kényszerített konvekciós sütéssel.

A kutatók rámutattak, hogy az előgőzölés hatására a felületi hőmérséklet hosszabb ideig 120-140 °C alatt maradt, amely hőmérsékleti tartomány alatt az akrilamid képződés még nem számottevő. A sütés utolsó szakaszában alkalmazott száraz hő (utósütés) biztosítja a végső textúra, ropogós kéreg és barna szín kialakítását, amelyeket a fogyasztók elvárnak. Ez a kétfázisú sütés - az előgőzölés és az utósütés - tehát egymást kiegészítve biztosítja a termék jobb térfogatát, egyenletes belső szerkezetét és kedvező érzékszervi tulajdonságait, miközben jelentősen csökkenti az akrilamid képződés kockázatát. (Ahrné et al., 2006; Isleroglu et al., 2012; Mondal & Datta, 2008)

3. Anyag és Módszer

A kutatás célja három különböző sütési eljárás hatásának vizsgálata három eltérő receptúra esetében, összesen kilenc mérési pont kialakításával. A vizsgálat során a piskóta jellegű termékek előállítását és azok minőségi jellemzőinek változását elemeztem az alkalmazott technológiai paraméterek függvényében.

A kísérlet során az alábbi sütési eljárásokat alkalmaztam:

1. Hagyományos sütés, amely a legelterjedtebb sütő- és cukrászipari hőkezelési mód, és elsősorban a termék aranybarna színéért, valamint jellegzetes ízéért és illatáért felelős.
2. Gőzölés, amely során a nedves közeg hatására várhatóan kedvezőbb állomány- és textúrajellemzők alakulnak ki, ugyanakkor a termék színe világosabb, fakóbb lehet.
3. Kombinált eljárás, amely a hagyományos és a gőzöléses technológia elemeit ötvözi.

A kombinált módszer vizsgálatának célja annak feltárása, hogy a két eljárás előnyeinek egyesítésével olyan termék állítható-e elő, amely mind esztétikai (szín, megjelenés), mind érzékszervi (állag, textúra), mind pedig tárolási tulajdonságait tekintve kedvezőbb paraméterekkel rendelkezik. Ennek megfelelően a kombinált módszernél egy gőzkezelést követően kerül sor a hagyományos utósütésre.

3.1. Felhasznált receptúrák

A vizsgálathoz három különböző receptúrát választottam annak érdekében, hogy eltérő összetételű mintákon keresztül lehessen összehasonlítani az alkalmazott sütési eljárások hatását. Kontroll mintaként a hagyományos piskóta receptet alkalmaztam, amely kizárólag tojás, cukor és liszt felhasználásával készül. A második receptúra az alapösszetevőkön felül kis mennyiségű növényi zsiradékot is tartalmazott, míg a harmadik recept ezen összetevők mellett sütőpor hozzáadásával készült. A 4. receptúrában a tojást teljes mértékben tücsökliszttel helyettesítettem, melyet a tojás fehérje- és zsírtartalmának átszámolásával határoztam meg. A tojás zsírtartalmát azzal megegyező mennyiségű margarinnal helyettesítettem, míg a tojás által biztosított fizikai lazítást a receptben megnövelt sütőpor-mennyiséggel pótoltam.

A négy recept közötti különbségek lehetővé teszik annak vizsgálatát, hogy az egyes kiegészítő alapanyagok - a zsiradék és a sütőpor - milyen hatást gyakorolnak a termék szerkezetére, térfogatára, állományára és egyéb minőségi jellemzőire. A 4. receptúrában a tojást teljes mértékben tücsökliszttel helyettesítettem, melyet a tojás fehérje- és zsírtartalmának átszámolásával határoztam meg. A tojás zsírtartalmát azzal megegyező mennyiségű margarinnal helyettesítettem, míg a tojás által biztosított fizikai lazítást a receptben megnövelt sütőpor-mennyiséggel pótoltam.

A táblázatban megadott piskótafelvert recepteket Martonné Volf és Hidas (2019) Cukrászati Ismeretek című Oktatási segédanyagából használtam fel.

1. táblázat: A vizsgált receptúrák összetétele

(Forrás: saját munka)

Összetevők	1. Recept (kontroll)	2. Recept (zsíradékkal)	3. Recept (zsíradék + sütőpor)	4. Recept (tűcsők + zsíradék + sütőpor)
Tojásfehérje	30 g	30 g	30 g	-
Tojássárgája	20 g	20 g	20 g	-
Cukor	20 g	20 g	20g	20 g
BL55 Búzaliszt	20 g	20 g	22,8 g	22,8 g
Margarin	-	4 g	1,4 g	3,7 g
Sütőpor	-	-	0,42 g	0,5 g
Tűcsökliszt	-	-	-	10 g
Víz	-	-	-	30 g
Sütési paraméterek	20 perc, 160 °C			
Gőzölési paraméterek	12 perc, 80%-os telítettségű gőz, 105 °C			
Kombinált eljárás paraméterei	12 perc gőzölés, 80%-os telítettségű gőz, 105 °C + 10 perc sütés, 180 °C			

3.1.1. Főbb műveleti lépések

Alapanyagok előkészítése:

1. Tojás fertőtlenítése, kétedényes szétválasztása. Ennél a műveletnél fontos, hogy a tojások fehérjét és sárgáját nagyon pontosan válasszuk ketté, mivel a sárgájában lévő lipidek gátolják a tojásfehérje habképződését, (Martonné Volf & Hidasi, 2019)
2. Liszt kimérése és szitálása az egyenletes szemcseméret és a levegőztetés elősegítése céljából,
3. Cukor kimérése,
4. Zsíradék kimérése és olvasztása a homogén elosztatás céljából,
5. Sütőpor kimérése, majd a kimért liszttel való elkeverése.

Műveleti lépések:

1. Tojássárgáját a cukor 1/3-ad részével felvertem, majd a tojásfehérjét a cukor 2/3-ával kemény habbá vertem úgy, hogy a cukrot csak akkor adagoltam, amikor már félig felverődött a hab.
2. A megolvasztott vaját hozzákevertem a felvert tojássárgája-cukor elegyhez, hogy a zsíradék ne csökkentse a tészta térfogatát.
3. Ezt az elegyet egy kevés fehérje habbal elkevertem, majd óvatosan beleforgattam a maradék tojásfehérje habot.
4. A lisztet lépésenként hozzákevertem tojás-zsíradék elegyhez, hogy elkerüljem a csomósodást. (3. és 4. recept esetében ennél a lépésnél keverem a liszthez a sütőport és a tücsöklisztet)
5. A tésztát 4 inch (=10,16 cm) átmérőjű, 100% szilikonból készült sütőformába öntöttem.

Sütési paraméterek:

1. Sütési eljárás: Hagyományos sütőben, légkeveréses módon 160 °C-on 20 perc alatt aranybarnára sütöm.
2. Gőzölési eljárás: Gőzöléssel 12 perc alatt, 105 °C-on, 80%-os páratartalommal szilárdra gőzölöm.
3. Kombinált eljárás: 12 perc előgőzölést követően 10 perc hagyományos légkeveréses sütőben 180 °C-on kérgesítés alkalmazása.

3.2. Vizsgálati módszerek

A kísérleti minták értékelése során többféle vizsgálati módszert alkalmaztam annak érdekében, hogy az egyes sütési technológiák hatékonyságát és a termék minőségét több szempontból, komplex módon lehessen értékelni.

3.2.1. Reológiai vizsgálat

A kisütött minták textúravizsgálatát AMETEK Brookfield CT3-4500 típusú Texture Analyser készülékkel végeztem, mintánként három párhuzamos méréssel. A mérések vezérléséhez a TexturePro CT V1.9 Build 35 szoftvert használtam. A berendezéshez TA11/1000 típusú, 25,4 mm átmérőjű és 43 mm magasságú, henger alakú kompressziós mérőfej csatlakozott. A vizsgálat során egyirányú nyomóvizsgálatot (compression test) végeztem, amelyben a minták 50%-os deformációjához szükséges maximális erőt (N) határoztam meg. A vizsgálati paraméterek: kezdeti érintési erő 0,05 N, a teszt sebessége 1 mm/s volt. Egy mintán a program öt egymást követő ciklust hajtott végre, amelyek lehetővé tették a belső szerkezet romlásának nyomon követését. A vizsgálatához a mintákat 3*3*3 cm-es

kockákra vágtam, majd a mintákról a felső kérget eltávolítottam, hogy az eredmények kizárólag a bélzet tulajdonságait tükrözzék. A kapott mérési adatokat Microsoft Excel programba exportáltam, majd diagramokon ábrázoltam az eredményeket.

3.2.2. Buborékméret meghatározás

A kisült piskóta egyik fontos érzékszervi és szerkezeti jellemzője az egyenletes, apró légbuborékokkal telített tésztabelső. A vizsgálat célja annak meghatározása, hogy a különböző sütési technológiák és receptúrák milyen mértékben befolyásolják a tészta pórusszerkezetét, különös tekintettel a buborékok méretére és eloszlására. Mivel ezek a szerkezeti különbségek szabad szemmel nem ítéltethők meg pontosan, a vizsgálatot digitális képelemzéssel végzem. Ehhez Fiji ImageJ képfeldolgozó programot alkalmaztam, amely lehetőséget nyújt a piskótaminták keresztmetszeti képein a buborékok méretük és eloszlásuk statisztikai kiértékelésére. (<https://imagej.net/ij/>) A vizsgálatához a minták előkészítése szükséges volt. A mintákat először félbe vágtam, majd a bélzetükről közeli fényképeket készítettem úgy, hogy skálaként egy vonalzót is a minta mellé helyeztem. A vonalzó szerepe az, hogy a program a későbbi kiértékelés során méretarányosan tudja feldolgozni a képet, és az eredményeket nem pixelben, hanem fizikai mértékegységekben adja meg. A felvételeket JPG formátumban töltöttem fel a Fiji programba, ahol elvégeztem a kiértékeléshez szükséges beállításokat: kijelöltem és körbevágtam a vizsgálandó területet, beállítottam a kontrasztot, valamint megadtam az elemezni kívánt paramétereket.

3.3. Alkalmazott sütők technológiai ismertetője

3.3.1. Gőzsütő

Az UNOX XEBC-10EU-EPRM típusú kombinált sütő PRESSURE.Steam funkciója speciális gőzölési technológiát alkalmaz, amely a sütőtérben létrehozott szabályozott gőznyomás segítségével biztosítja a hatékony hő- és nedvességátadást. A technológia lehetővé teszi telített gőz vagy túlnyomásos gőz alkalmazását a minták hőkezelése során, a technológiai céltól függően. A funkció működésének lényege, hogy a sütőtér légállapotát a vízgőz részarányának növelésével magas páratartalmú közeggé alakítja, amely minimális konvektív szárító hatással jár. Ezáltal a minta felületéről nem következik be jelentős nedvességvesztés, ugyanakkor a kondenzáció révén intenzív hőátadás valósul meg. Túlnyomásos üzemmódban a rendszer a gőznyomás növelésével fokozza a gőz penetrációját a minta belsejébe, ami különösen előnyös nagyobb térfogatú vagy tömörebb szerkezetű minták esetében. (UNOX, 2022)

3.3.2. Hagyományos sütő

A beépíthető, elektromos sütők napjaink modern konyháinak alapvető berendezései közé tartoznak. Ilyen sütő az IKEA Forneby 305.577.90-es modellje, amely hatékony és sokoldalú sütési lehetőséget kínál. Légkeveréses rendszerrel is működik, ami egyenletes hőelosztást biztosít a sütőtérben, aminek köszönhetően az ételek kívül aranybarnák, belül pedig kiszáradás nélkül átsülnek. Számos más funkcióval is rendelkezik a sütő, így például az alsó-felső sütés üzemmódnál a sütő tetején és alján lévő fűtőszálak egyszerre működnek, így a hő természetes módon, ventilátor nélkül áramlik a sütőtérben. Ez a hőelosztás egyenletes, de nem keringetett, ezért különösen jól használható olyan ételeknél, amelyek lassabb, kíméletesebb sütést igényelnek, ennek megfelelően piskóták, sütemények sütésére kifejezetten alkalmas funkció. (IKEA, n. é.)

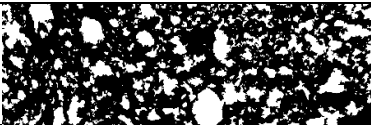
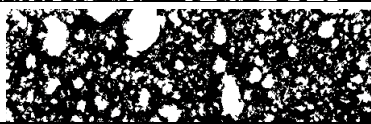
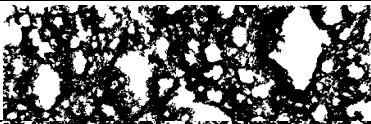
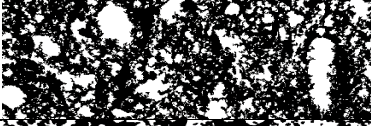
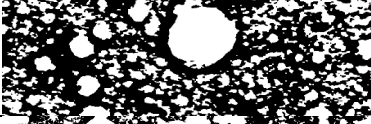
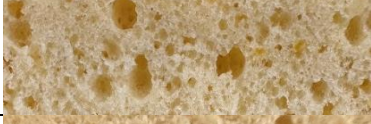
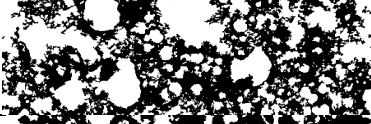
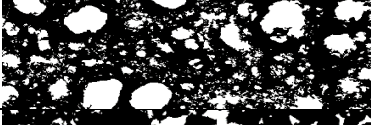
4. Eredmények és kiértékelésük

4.1. Buborékméret analízis

A vizsgált minták bélzetének tulajdonságait ImageJ szoftverrel végzett buborékanalízis segítségével értékeltem. Az elemzés célja az volt, hogy meghatározzam, hogyan befolyásolják a tésztalesztés módszerei (fizikai és kémiai), a receptúramódosítások (margarin-, sütőpor hozzáadása és a tojás helyettesítése tücsökliszttel), valamint a különböző hőkezelési technológiák (hagyományos sütés, gőzölés, kombinált sütés) a piskótatészták szerkezetét

A 2. táblázat a piskótaminták kihűlés utáni keresztmetszet képét és azok binarizált változatát tartalmazza receptenként. A binarizált kép adja az alapját a pontos képanalízisnek, mivel ebben a lépésben a vizsgált területet két részre osztom a szoftverrel: a háttérre és a vizsgált buborékokra. A képet ezzel fekete-fehér formátumra alakítom, ahol a fehér pixelek jelölik a buborékokat, a fekete pedig a szilárd részt. Ez a kontraszt teszi lehetővé, hogy a szoftver egyértelműen felismerje az egyes objektumok határait, megszámlálja őket, valamint meghatározza azok méretét, alakját és eloszlását.

2. táblázat: ImageJ binarizált képeinek eredményei
(Forrás: saját munka)

Minta neve	Eredeti kép	ImageJ binarizált kép
Kontroll_sütő		
Recept_2_sütő		
Recept_3_sütő		
Kontroll_gőz		
Recept_2_gőz		
Recept_3_gőz		
Kontroll_kombi		
Recept_2_kombi		
Recept_3_kombi		
Recept_4_sütő		
Recept_4_gőz		
Recept_4_kombi		

A vizsgálat során a porozitást, az átlagos pórusméretet, a pórusok alakparamétereit (körköröség, tömörség), valamint az átlagos póruskerületet és buborékátmérőt hasonlítottam össze, melynek eredményeit a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat: ImageJ buborékanalízis eredményei

(Forrás: saját munka)

Minta neve	Porozitás (% lyuktartalom)	Átlag pórusméret (mm ²)	Körkörösség	Tömörség	Átlagos póruskerület (mm)	Átlagos buborékátmérő (mm)
Kontroll_sütő	30,823	0,126	0,732	0,854	1,334	0,403
Recept_2_sütő	28,905	0,085	0,740	0,859	1,017	0,317
Recept_3_sütő	39,455	0,202	0,758	0,862	1,417	0,450
Recept_4_sütő	25,036	0,049	0,710	0,837	0,833	0,242
Kontroll_gőz	31,930	0,084	0,736	0,850	1,059	0,303
Recept_2_gőz	34,815	0,161	0,725	0,841	1,648	0,473
Recept_3_gőz	48,107	0,174	0,772	0,872	1,465	0,324
Recept_4_gőz	30,844	0,066	0,713	0,840	0,909	0,247
Kontroll_kombi	28,847	0,177	0,712	0,841	1,691	0,484
Recept_2_kombi	23,235	0,241	0,705	0,840	1,886	0,552
Recept_3_kombi	31,082	0,057	0,763	0,866	0,755	0,217
Recept_4_kombi	23,945	0,042	0,711	0,838	0,759	0,221

A porozitás értékei alapján megállapítható, hogy a bélzet levegőtartalma mintánként jelentősen eltért. A kontroll minták (tojásfehérje habbal lazítva, kémiai lazító nélkül) közepes porozitást mutattak (28,8-31,9%), ami a fizikai lazítás jellegzetes eredménye. A Recept_2-ben alkalmazott margarin hozzáadása a porozitást átlagosan 1,5%-kal csökkentette, ami azzal magyarázható, hogy a zsiradék a levegőbuborékokat körülöleli, és stabilizálja a habszerkezetet, ezáltal kisebb térfogatú, de egyenletesebb lyukstruktúrájú bélzet jön létre. A legnagyobb porozitást a Recept_3 minták mutatták, ahol a fizikai lazítás mellett kémiai lazítást (sütőport) is alkalmaztam. A porozitás értéke itt elérte a 39,45%-ot sütésnél és 48,10%-ot gőzölésnél, ami arra utal, hogy a kémiai lazító által felszabadított gáz jelentősen fokozta a térszerkezet levegősségét és térfogatát.

A pórusok mérete is alátámasztotta ezt a tendenciát: a Recept_3 minták átlagos pórusmérete (0,202-0,114 mm²) magasabb volt, mint a kontroll, Recept_2 vagy Recept_4 esetében. Ez annak köszönhető, hogy a sütőpor nagyobb buborékokat képezett, ami lazább, de kevésbé homogén szerkezetet hozott létre. Ezzel szemben a Recept_2 minták kisebb átlagos pórusmérettel rendelkeztek (0,085-0,241 mm²), ami a margarin szerkezetfinomító hatásának tulajdonítható. A margarin csökkentette a buborékok összenövésének veszélyét, ezáltal kisebb, zártabb pórusok jellemezték ezeket a mintákat. A Recept_4 esetében figyelhető meg a legkisebb átlagos pórusméret, ami a tojás hab hiányának tudható be. Míg a többi minta fizikai lazítást és esetenként kémiai lazítást is kapott, addig ezekben a mintákban csak a sütőpor volt a

térfogatnövelő összetevő, azonban egyértelműen megállapítható, hogy önmagában nem bizonyult elégnak a kémiai lazítás.

A buborékok alakjának értékelésére használt körkörösségi értékek (0-1 tartományban, ahol a magasabb érték tökéletesebb köralakot jelent) 0,705-0,78 közé estek. Ez általánosságban jó szerkezeti homogenitást jelent, azonban a Recept_2_kombi mintája (0,705), a Kontroll_kombi (0,712) és a Recept_4 kombi (0,711) enyhén nyújtott pórusokat mutatott, ami arra utal, hogy a kombinált technológiában a második fázisban alkalmazott magasabb hőhatás részben deformálta azok a minták buborékait, amiben csak egyféle térszalazítást alkalmaztam. Ezzel szemben a legkörösebb pórusok a Recept_3_gőz mintájánál voltak (0,772), ami szabályos buboréknövekedést jelez, stabil morzsaszerkezettel.

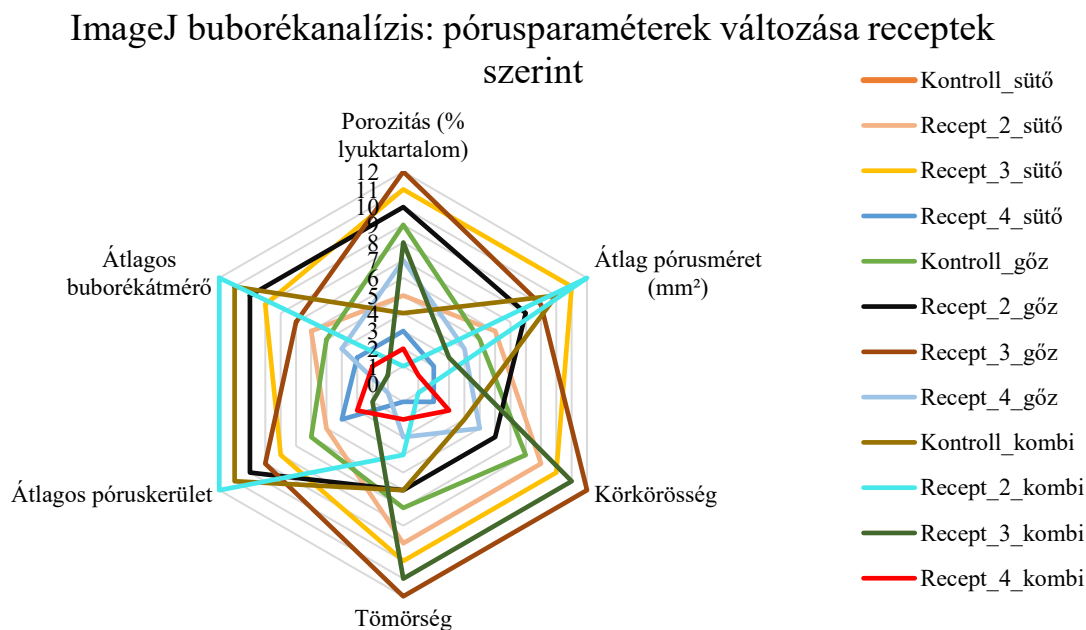
A tömörség értékei szintén alátámasztják a szerkezeti eltéréseket. A zsiradékkal készült Recept_2 minták 0,84-0,86 körüli tömörségértékeket mutattak, ami arra utal, hogy a pórusfalak vastagabbak, kevésbé töredezetek. Ezzel szemben a Recept_3 minták némileg alacsonyabb tömörséggel rendelkeztek (0,763-0,872), ami a táguló, lazább térszálra jellemző. A Recept_4, amely tücsöklisztet tartalmazott, de nem tartalmazott tojáshabot, a többi mintához képest lényegesen zártabb, tömörebb szerkezettel rendelkezett. A tojás hab hiánya miatt a térszálban kevesebb levegő záródott be, így csökkent a porozitás és az átlagos pórusméret, valamint a buborékok mérete is kisebb lett. Ennek következtében a termék kevésbé levegős, sűrűbb textúrájú lett, ami a tojás hab levegőmegtartó és térfogatnövelő hatásának hiányával magyarázható. A tücsökliszt magas fehérje- és zsírtartalma szintén hatással lehetett a térszál szerkezetére, azonban hiába magas a fehérjetartalom, ha a benne lévő fehérjék nem habképzők, ami miatt a térszál szerkezete tömörebb, kevésbé porózus lett.

Összességében elmondható, hogy a mért porozitás- és pórusméret növekedés a térszál lazább, levegősebb textúrájában is megnyilvánult, ugyanakkor a nagyobb pórusok a szerkezet egyenletességének csökkenését eredményezték. A nagyobb pórusok és a megnövekedett levegőtartalom könnyebb textúrát eredményezett, viszont a póruseloszlás egyenetlenebbé vált, ami a morzsa stabilitására is hatással volt. A zsiradék alkalmazása ezzel szemben javította a szerkezeti egyenletességet és a pórusfalak stabilitását, mivel bevonatot képezett a buborékok felszínén, ezáltal megakadályozta azok összenövését, és finomabb, egyenletesebb szerkezetet eredményezett. A kémiai lazítók használata a térszál térfogatának növekedését segítette elő, de ez gyakran lazább, kevésbé összefüggő szerkezetet hozott létre, ami a levegő gyorsabb felszabadulásával és a pórusfalak gyengülésével magyarázható volt. A tojás hab elhagyása, illetve az alternatív fehérjeforrás, például a tücsökliszt beépítése a térszál levegőmegtartó képességét csökkentette, ami zártabb, tömörebb bélzet kialakulásához vezetett. A fehérje- és zsírtartalom megváltozása hatással volt a térszál gázmegtartó és szerkezeti tulajdonságaira is,

ami a végtermék textúrájában és kinézetében is megmutatkozott. Összességében megállapítható volt, hogy a receptúra összetétele és a sütési technológia összehangolása kulcsfontosságú szerepet játszott a kívánt bélzetszerkezet elérésében. A fizikai és kémiai lazítás arányának, valamint a zsiradék és a fehérjeforrások megfelelő beállításának kombinációja alapvetően meghatározta a termék szerkezeti stabilitását, levegősségét és érzékszervi tulajdonságait.

Az 1. ábrát az ImageJ szoftverrel végzett buborékanalízis alapján készítettem, amely során a minták pórusszerkezeti jellemzőit, azaz a porozitást, átlagos pórusméretet, körkörösséget, tömörséget, átlagos póruskerületet és buborékátmérőt vizsgáltam. Az egyes minták értékeit paraméterenként növekvő sorrendbe rendezve, radar diagramon ábrázoltam, hogy vizuálisan is összehasonlíthatóvá váljanak a különböző receptúrák (Kontroll, Recept_2, Recept_3, Recept_4) és sütési módok (sütő, gőz, kombinált) hatásai.

1. ábra: ImageJ buborékanalízis: pórusparaméterek változása receptek szerint
(Forrás: saját szerkesztés)



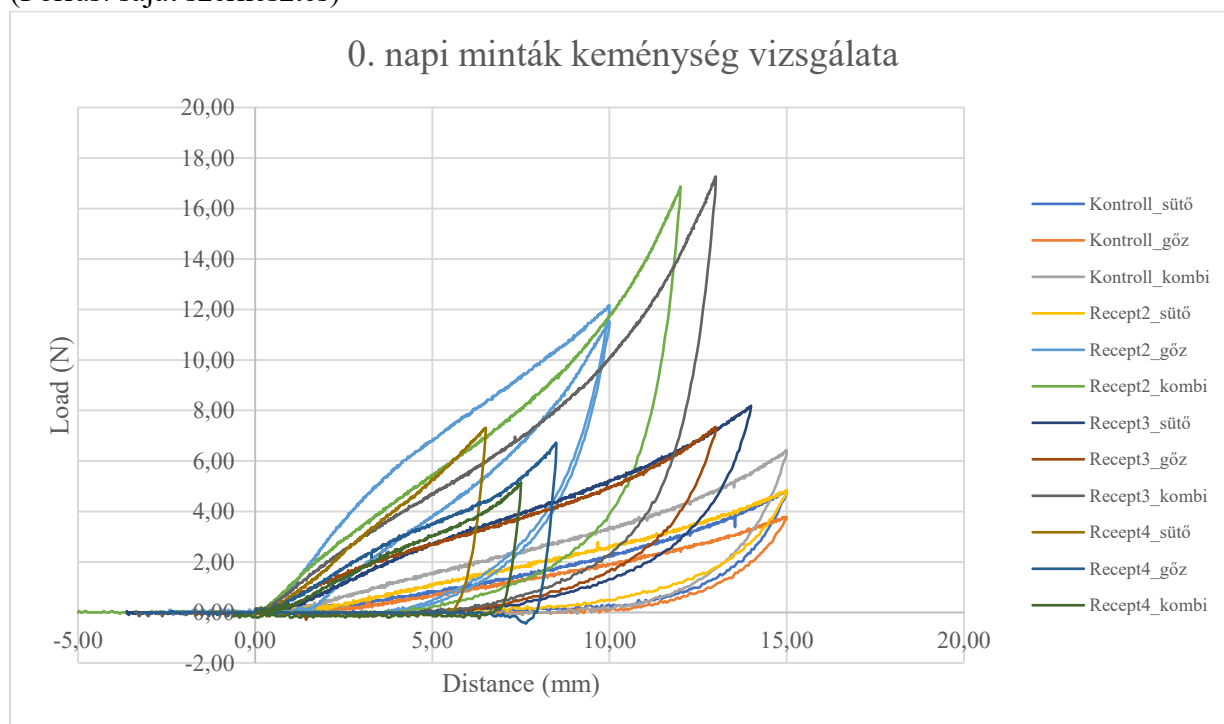
Az eredmények egyértelműen igazolták, hogy a sütési körülmények meghatározó szerepet játszottak a pórusszerkezet kialakulásában. A hagyományos sütőben készült minták nagyobb porozitást és pórusméretet mutattak, ami lazább, levegősebb, ugyanakkor kevésbé homogén szerkezetet eredményezett. A gőzöléssel készült minták ezzel szemben alacsonyabb porozitással, kedvezőbb körkörösségi értékekkel és nagyobb tömörséggel jellemezhetők, amit a gőzös közeg hő- és páratartalom-stabilizáló hatása magyarázott. A kombinált üzemmód során előállított minták mutatták a legkompaktabb szerkezetet, a legalacsonyabb porozitási és pórusméret-értékekkel, mivel a technológia elősegítette a pórusfalak záródását és a belső nedvességtartalom csökkenését. Összességében megállapítható volt, hogy a porozitás és

pórusméret csökkenésével a tömörség és a körköröség javult, a gőzös és kombinált sütési mód pedig kedvezőbb technológiai feltételeket biztosított a homogénebb, finomabb szerkezet kialakulásához.

4.2. Texture Analyser mérési eredményei

A diagram a 0. napi minták keménységvizsgálatának eredményeit mutatja különböző receptek és sütési technológiák összehasonlításával, amelyeknél mintánként három párhuzamos mérés átlagát értékeltem, és minden esetben az első ciklust elemeztem. Négyféle receptet vizsgáltam: a kontroll mintát (tojás, liszt, cukor), a Recept_2-t, amely margarin hozzáadásával készült, a Recept_3-at, amely margarin és sütőpor felhasználásával készült, valamint Recept_4-et, amely tojás kihagyásával és tücsökkliszt hozzáadásával készült. A mintákat három különböző hőkezelési módon készítettem el: hagyományos sütőben, gőzöléssel és kombinált (gőz + utósütés) technológiával.

2. ábra: 0. napi minták keménységének összehasonlítása különböző sütési technológiák esetében
(Forrás: saját szerkesztés)



Az eredmények alapján mind az összetétel, mind a sütési technológia jelentősen befolyásolta a minták reológiai tulajdonságait. A hagyományos sütőben készült minták közül a Recept_3 mutatta a legnagyobb ellenállást a deformációval szemben, 8,19 N maximális erőértékkel, ami arra utal, hogy ez volt a legnehezebben deformálható piskóta a sült minták közül. Ezt követte a Recept_4 megközelítőleg 7,31 N értékkel, majd a Recept_2 4,85 N-nal, míg a kontroll minta maradt a legpuhább 4,81 N körül.

A gőzölés hatása a minták mechanikai tulajdonságaira nem volt egységes. A kontroll (3,78 N) Recept_3 (7,35 N) és a Recept_4 (6,72 N) esetében a gőzös sütési környezet csökkentette a maximális erőértéket, ami fokozott deformálhatóságra és lágyabb szerkezetre utal. Ezzel szemben a Recept_2 (7,26 N) mintákban a gőzölés hatására a maximális erő nőtt, ami a szerkezet szilárdulását, stabilabb belső hálózat kialakulását jelezheti. A kombinált technológia eredményezte a legnagyobb szilárdságot, mivel mindhárom tojásfehérje habot tartalmazó receptúra esetében jelentősen magasabb maximális erőértéket adott a másik két sütési eljáráshoz képest. A kontroll minta 6,42 N, a Recept_2 16,87 N, a Recept_3 17,26 N, míg a Recept_4 5,15 N maximális erőt igényelt. Ez azt mutatja, hogy a kombinált eljárás stabil, feszes állományt hozott létre, ami arra vezethető vissza, hogy a gőz segítette a térfogatnövekedést, az utósütés pedig megszilárdította a szerkezetet.

4. táblázat: 0. napi minták maximális keménysége az egyes mérési ciklusokban
(Forrás: saját munka)

Minta neve	Szilárdság (N)					Puhulás (%)
	1.ciklus	2.ciklus	3.ciklus	4.ciklus	5.ciklus	
Kontroll_sütő	4,81	4,31	4,56	4,36	4,51	6,24
Recept_2_sütő	4,85	4,66	4,56	4,56	4,61	4,95
Recept_3_sütő	8,19	7,85	7,80	7,55	7,45	9,04
Recept_4_sütő	7,31	6,89	6,08	5,88	5,79	20,79
Kontroll_gőz	3,78	3,63	3,58	3,48	3,48	7,94
Recept_2_gőz	7,26	6,82	6,72	6,52	6,42	11,57
Recept_3_gőz	7,35	7,01	6,82	6,67	6,57	10,61
Recept_4_gőz	6,72	6,08	5,79	5,64	5,54	17,56
Kontroll_kombi	6,42	6,18	6,08	5,98	5,98	6,85
Recept_2_kombi	16,87	15,89	15,45	15,05	14,76	12,51
Recept_3_kombi	17,26	16,38	15,79	15,54	15,4	10,78
Recept_4_kombi	5,15	4,56	4,27	4,12	4,17	19,03

Összességében elmondható, hogy a margarin hozzáadása mérsékelten növelte a tészták szilárdságát, míg a sütőpor jelentős szerkezeterősítő hatással bírt. A sütési technológiák közül a gőzölés puhító, míg a kombi sütés kifejezetten struktúraerősítő hatású volt. Átlagosan a

Recept4 minta igényelte a legkisebb összenyomási erőt, amit a mechanikai tésztalazítás hiánya okozhatott. A legerősebb, legellenállóbb textúrát minden esetben a margarin és sütőpor együttes alkalmazásával készült Recept_3 mutatta.

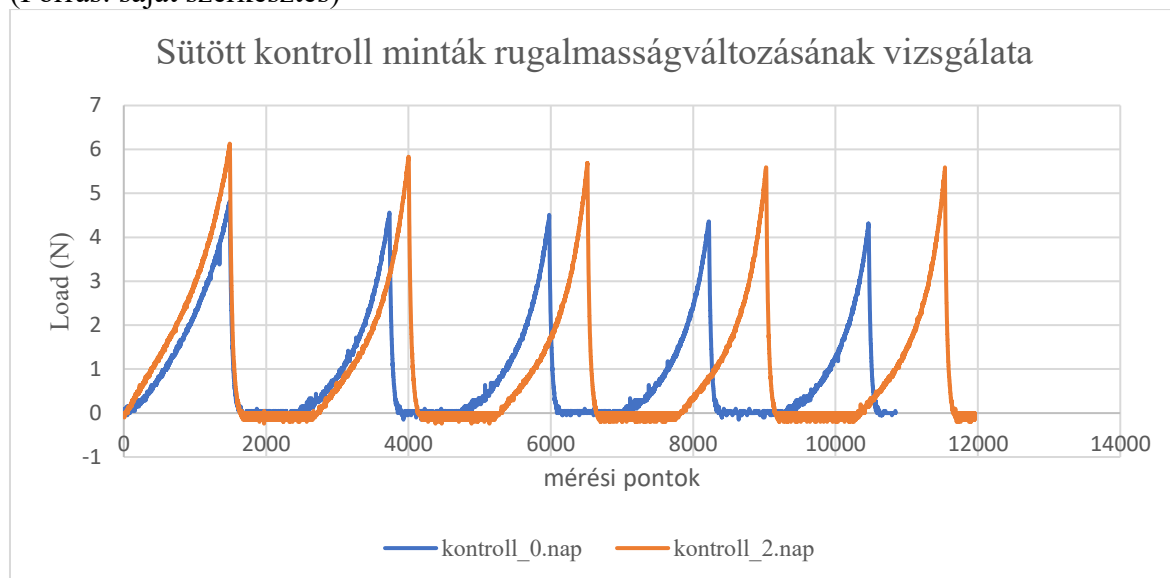
4.3. Rugalmasságváltozás vizsgálat

A diagramok a minták rugalmasságának változását mutatják a 0. és a 2. nap között öt egymást követő deformációs ciklus során. A vizsgált mintákat a 2. ábrán megfigyelhető, kiemelkedő keménységértékek alapján választottam ki. A Kontroll_sütő mintát azért vizsgáltam, mert ez képviseli a hagyományos piskóta receptúrát és elkészítési módot, míg a Recept2_gőzt azért fontos elemezni, mert ez volt az egyetlen recept, ahol a gőzölés növelte a deformáláshoz szükséges erőt. A Recept3_kombi minta a saját recept kategóriáján belül a legmagasabb keménységi értékeket mutatta, míg a Recept4_kombi esetében a legalacsonyabb deformálhatósági erő a kombinált sütés esetében volt megfigyelhető. Ennek megfelelően ez a négy minta került kiválasztásra a rugalmassági vizsgálatokhoz. A rugalmasság (springiness) azt fejezi ki, hogy a minta milyen mértékben képes visszanyerni eredeti alakját az összenyomás után, vagyis mennyire rugalmasan viselkedik terhelés hatására. A mérések alapján megállapítható, hogy a tárolás jelentős hatással volt a minták mechanikai tulajdonságaira. rugalmassági értékek alapján következtetni lehet a minták állományára és szerkezeti stabilitásra. A magas rugalmasságú minták általában 0,8-1 közötti értékkel rendelkeznek, ezek jól visszanyerik eredeti alakjukat az összenyomást követően, ami friss, laza és stabil szerkezetre utal. A közepes rugalmasságú minták (kb. 0,5-0,8) esetében már megfigyelhető a szerkezet részleges sérülése vagy kezdeti öregedése, ezek kevésbé rugalmasak, de még elfogadható állapotúak. Az alacsony rugalmasság (általában $< 0,5$) az állomány jelentős romlását jelzi: a minták szárazabbá, tömörebbé vagy morzsálódóvá válnak, ami a frissesség elvesztésének egyértelmű jele. Amennyiben a rugalmasság értéke az ismételt terhelési ciklusok során csökken, az a belső szerkezet fáradását mutatja, vagyis a minta egyre kevésbé képes visszanyerni eredeti szerkezetét, míg a tárolási idő növekedésével megfigyelhető rugalmasságcsökkenés pedig az öregedés, száradás és keményedés következménye.

A 3. ábra a sült kontroll minták rugalmasságának változását mutatja a tárolás során, két mérési időpontban a 0. és a 2. nap összehasonlításával. A függőleges tengelyen az összenyomáshoz kifejtett erő (Load, N), a vízszintes tengelyen pedig a mérési pontok, vagyis a mérés időbeli lefutása látható. Mindkét görbe öt egymást követő ciklust ábrázol, amelyekből jól leolvasható a minták texturális viselkedése.

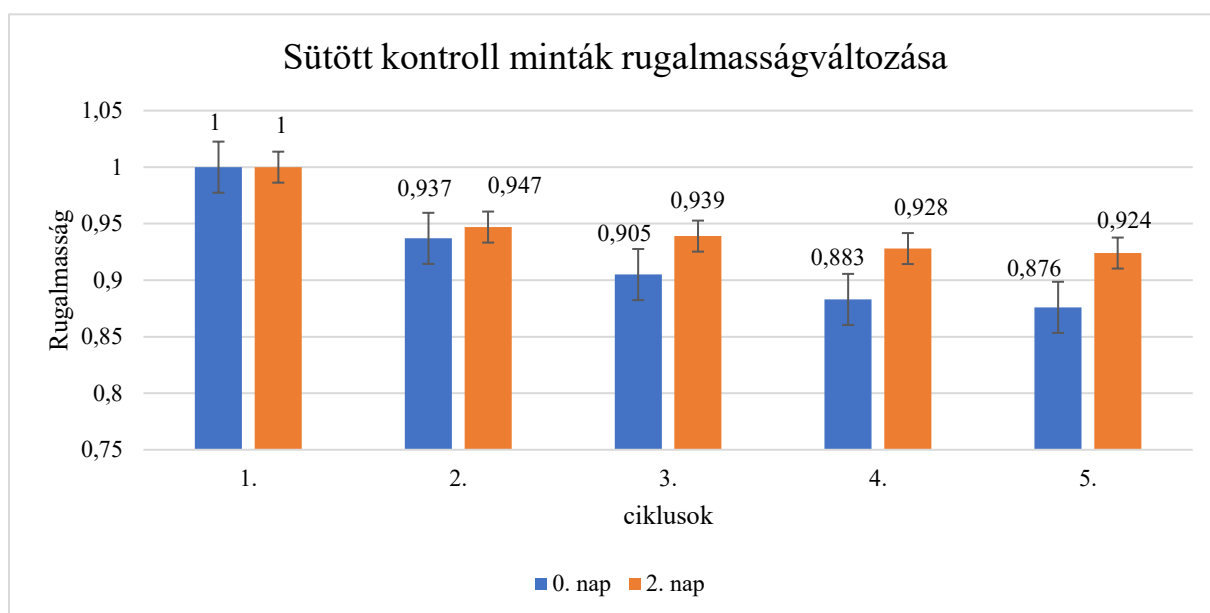
3. ábra: A sült kontroll minták rugalmasságváltozásának vizsgálata

(Forrás: saját szerkesztés)



A friss, 0. napos mintánál az erő meredeken emelkedik, majd minden ciklus után gyorsan visszatér a nullához. A csúcsok közel azonos magasságúak, és a görbe az egyes nyomások után szinte teljesen visszatér az alapvonalra. Ez arra utal, hogy a minta rugalmas: a deformáció után képes visszanyerni eredeti alakját, és csak minimális tartós alakváltozás tapasztalható, amely viselkedés jól jellemzi a friss, laza szerkezetű, még nem száradó sült terméket. Ezzel szemben a 2. napos mintán az erőcsúcsok magasabbak, ami azt jelzi, hogy a minta keményebb lett, azaz nagyobb ellenállást fejt ki a mérőfej mozgásával szemben. A csúcsok jobbra tolódnak, ami a merevebb szerkezet lassabb reakcióját jelentheti. Ez alapján a tárolás hatására a minta rugalmatlanabbá vált, és részben elveszítette az alakvisszanyerő képességét. Az alábbi megállapításokat a minták rugalmasság értékei is alátámasztják, melyet a 4. ábrán szemléltettem. A 4. diagram a sült kontroll minták rugalmasság eredményeit mutatja az egyes ciklusokban, ahol az első ciklus egynek számít, hiszen ez volt a kiindulási alap. Az eredményeket összevetve a fentebb említett szakirodalommal, mindkét tárolási napon magas rugalmasságú mintáknak számítanak, mivel mindkét mérési napon 1-0,8 közé esett rugalmasságuk. A diagram szerint a 2. napon a piskóta 1,1%-kal rugalmatlanabb lett, ami alátámasztja a fentebb kifejtett felvetéseket. Ennek ellenére az adatok további elemzésével megállapítható, hogy a 0. napi minta többet veszített a rugalmasságából a 4 számolt ciklus során, mint a 2. napi tárolt minta, mivel előbbinél 6,5%-ot csökkent a rugalmasság, addig a 2. napi vizsgálatnál ez az érték csak 2,4% volt.

4. ábra: Sütött Kontroll minták rugalmasságváltozása a 0. és 2. tárolási napon
(Forrás: saját szerkesztés)



Összességében a diagramok alakulása egyértelműen mutatja, hogy a sütött kontroll minták a tárolás két napja alatt keményedtek, miközben rugalmasságuk nőtt. A friss minta már nehezebben deformálható, és kevésbé képes visszatérni eredeti formájába, míg a tárolt minta jobban visszanyúlik. Ez a jelenség tipikus a sütött termékek öregedésekor, mivel a szerkezet vízvesztése és tömörödése miatt a keménység nő, a rugalmasság pedig fokozatosan csökken.

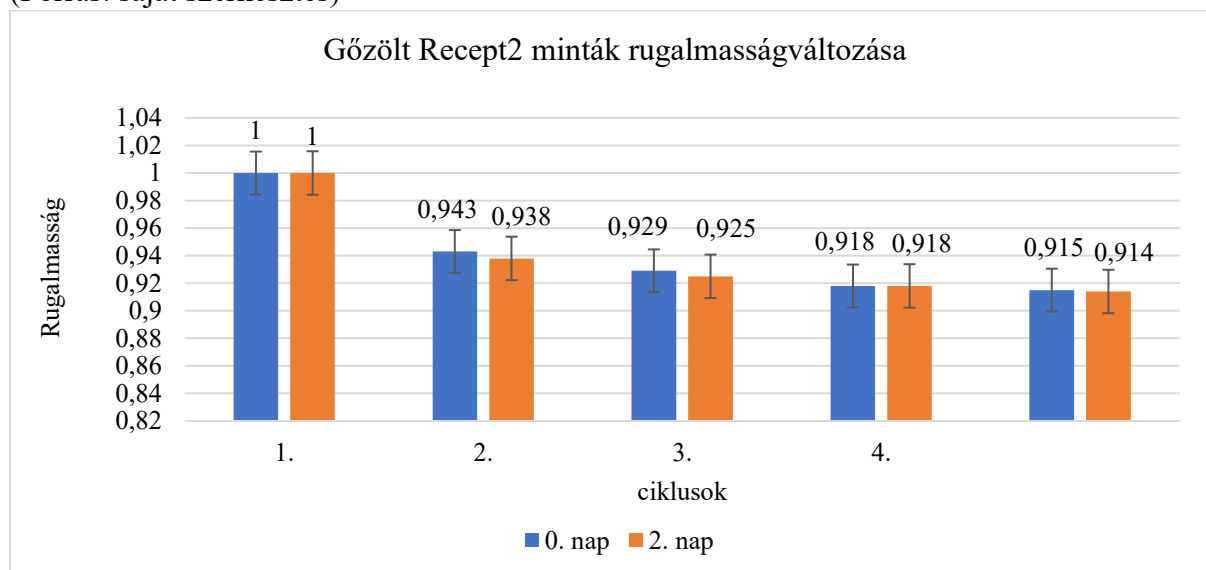
Az 5. ábrán látható gőzölt Recept2 minták eredményei hasonló tendenciát mutatnak, de a folyamat intenzívebb. A friss minta kezdetben viszkoelasztikus, lágy és jól visszanyúló szerkezetű, a görbék meredek és a ciklusok között teljesen visszatérnek az alapvonalra. Ez arra utal, hogy a gőzölés puhább, nedvesebb és homogénebb textúrát eredményez, ami magas kezdeti rugalmassággal jár. Két nap elteltével azonban a maximális erők közel kétszeresére nőttek, így a minta tehát keményebbé, tömörebbé és kevésbé rugalmasabbá vált. A rugalmasság csökkenése mellett maradó deformáció figyelhető meg, ami a vízvesztés, a fehérjehálózat feszesedése és a szerkezeti összetömörödés következménye.

5. ábra: Gőzölt Recept2 minták rugalmasságváltozás vizsgálata
(Forrás: saját szerkesztés)



A 2 minta rugalmasságváltozásának számszerű eredményeit a 6. ábrán ábrázoltam, amelyről leolvasható a minták szórása és az adott ciklusra vonatkozó rugalmassági értékeket.

6. ábra. A gőzölt Recept2 minták rugalmasságváltozása a 0. és 2. tárolási napon
(Forrás: saját szerkesztés)



A diagram alapján megállapítható, hogy a gőzölt minták esetében a tárolás nem volt jelentős befolyással a rugalmasság alakulására. Az eredmények alapján a 0. napon 2,6%-os rugalmasságvesztés volt megfigyelhető, míg a 2. napon 2,9%-os, ami nem számít jelentős változásnak. Megállapítható továbbá, hogy annak ellenére, hogy az 5. ábrán jelentős keményedés figyelhető meg a tárolás során, ez nem egyenesen arányos a rugalmasságvesztéssel. Ennek hátterében az elkészítés technológiája állhat, mivel a gőz jelenléte segítheti a fehérje- és keményítőháló egyenletesebb kialakulását, ami stabilabb szerkezetet és jobb nedvességmegtartó képességet eredményez. Ez magyarázhatja, hogy a

rugalmasság viszonylag állandó maradt a tárolás ideje alatt, annak ellenére, hogy a keménység növekedett.

A két típusú mintát összehasonlítva jól látszik, hogy a sütött minták frissen puhábbak és rugalmasabbak, mint a gőzölt Recept2 minták és gyorsabban veszítik el rugalmasságukat a tárolás során. Összességében elmondható, hogy mind a sütött, mind a gőzölt minták mechanikai tulajdonságai a tárolás során romlanak, azonban eltérő mértékben. A száradási folyamat a gőzölt termékek esetében gyorsabban és láthatóbban megy végbe, míg a rugalmasságvesztés elenyészőbb, ezzel szemben a sütött minták textúrája lassabban változik meg, és rugalmasságuk tárolás hatására javul.

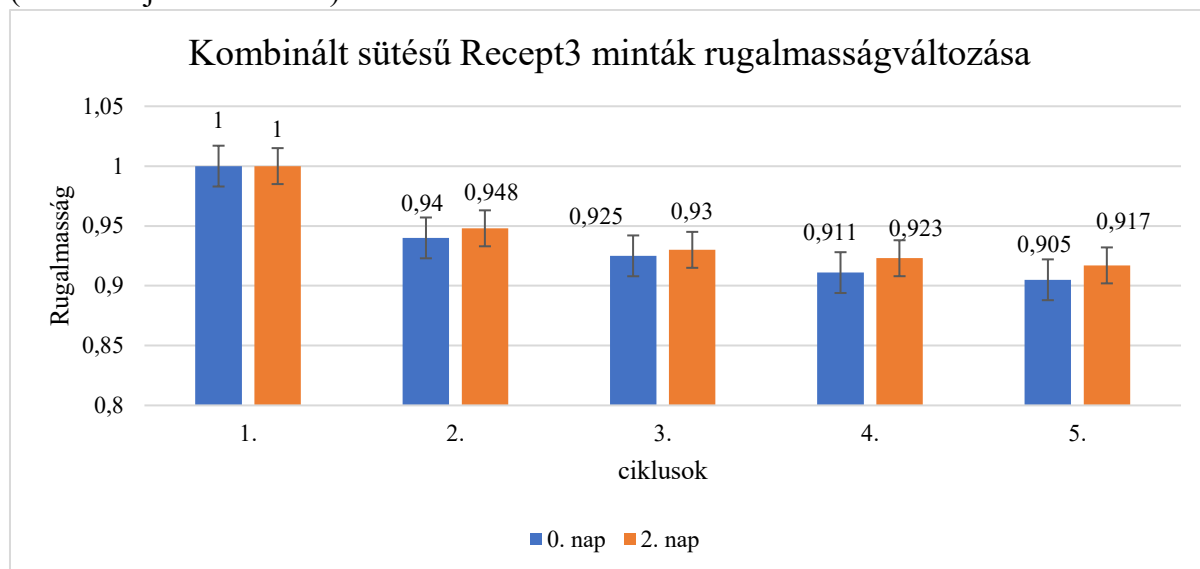
A kombinált eljárású Recept3 minták -melyeket a 7. ábra jelenít meg- esetében a rugalmasság és a keménység alakulása jóval kiegyensúlyozottabb, mint a sütött vagy a gőzölt mintáknál. A friss, 0. napos minta görbéje viszonylag magas erőcsúcsokat mutat, ami arra utal, hogy a minta valamivel keményebb már eredeti állapotban is, ugyanakkor az erő gyorsan visszaesik a ciklusok után, ami egy rugalmas, stabil szerkezetre jellemző viselkedés, amelyben a minta képes visszanyerni alakját az összenyomást követően. Két nap elteltével a Recept3 minta görbéje alig változik, így a csúcsok magassága és formája közel azonos marad, ami azt jelzi, hogy a tárolás során a minta szerkezete gyakorlatilag nem merevedett, a rugalmasság csak kis mértékben csökkent és a keménység sem nőtt számottevően.

7. ábra: Kombinált eljárású Recept3 minták rugalmasságváltozásának vizsgálata
(Forrás: saját szerkesztés)



Az erő-mérési pont diagramon látottak eredményeit a 8. ábrával támasztom alá. Ez a diagram a Recept3_kombi minta rugalmasságváltozását mutatja a 0. és 2. tárolási napon az egyes ciklusokban.

8. ábra: Kombinált sütésű Recept3 minták rugalmasságváltozása a 0. és 2. tárolási napon
(Forrás: saját szerkesztés)

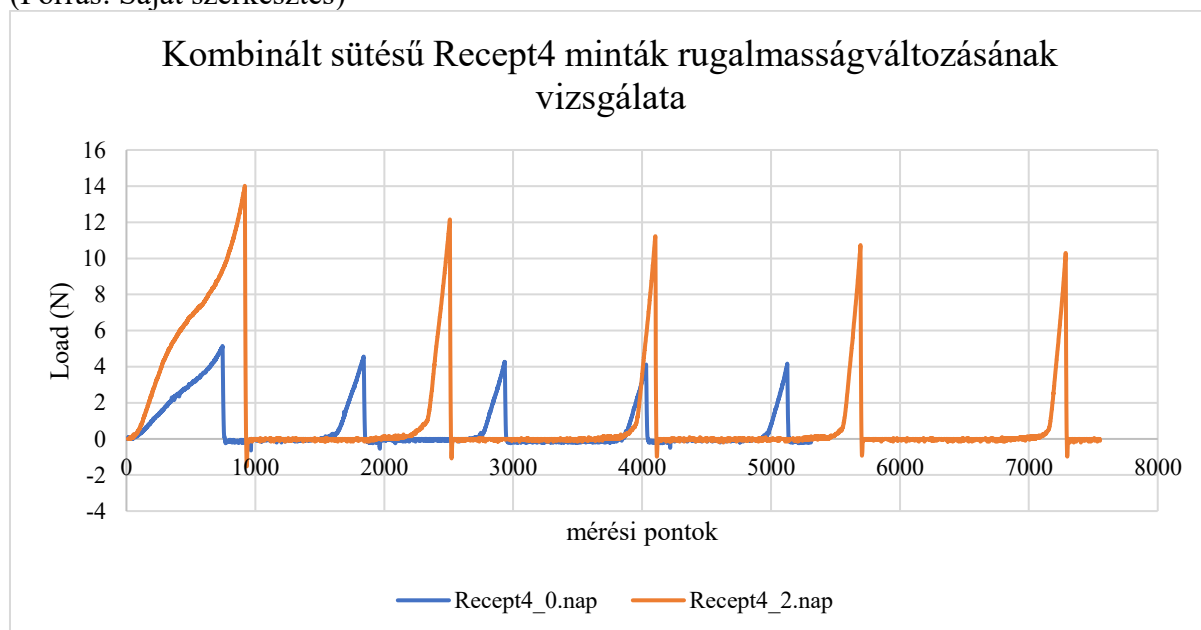


A fenti ábráról megállapítható, hogy sem a tárolási napok, sem az egyes ciklusok között nem volt kimagasló eltérés a rugalmassági értékek tekintetében. A 0. napon mért ciklusoknál 3,7%-os, míg a 2. napi méréseknél 3,3%-os rugalmasságcsökkenés volt megfigyelhető. Ez a minimális rugalmasságnövekedés a tárolás során több tényezővel is magyarázható. Egyrészt a receptben lévő sütőpor olyan szerkezeti stabilitást biztosíthatott, amely az elegendő légbuborékoknak köszönhetően a 2. napon is kellő tartást adott a mintának, másrészt a kombinált sütési eljárás során kapott gőz és utósütés együttes hatása által a minta elegendő nedvességhez jutott, az utósütés pedig hozzájárult a megfelelő szerkezeti szilárdság kialakulásához. Összességében elmondható, hogy a kombinált hőkezelés optimális egyensúlyt teremtett a szerkezeti szilárdság és a rugalmasság megőrzése között, ezzel átmenetet képezve a sütött kontroll és a gőzölt Recept2 viselkedése között.

A Recept4 minták diagramja (9. ábra) egyértelműen eltér a korábbi mintákétól, és jól mutatja, hogy a kombinált eljárás ebben az esetben nem eredményezett stabil, egyenletes szerkezetet, ami a receptúrák közötti eltéréssel magyarázható. A friss minta görbéje rendezetlen, és több ponton a nullaszint alá esik, ami egyértelműen a minta túl nedves, tapadós állapotára utal. A negatív értékek azt jelzik, hogy a mérőfej nem vált le teljesen a minta felszínéről, és visszahúzás közben a ragadós szerkezet húzóerőt fejtett ki. Emellett a görbe egyenetlensége azt jelenti, hogy a szerkezet puha, instabil és inhomogén volt, ami a kombinált eljárás során kialakult eltérő hőeloszlásból vagy nedvességtartalomtól is fakadhatott. A 2 napos minta ezzel szemben már szabályosabb, magas és jól elkülönülő erőcsúcsokat mutat, vagyis a tárolás alatt a termék

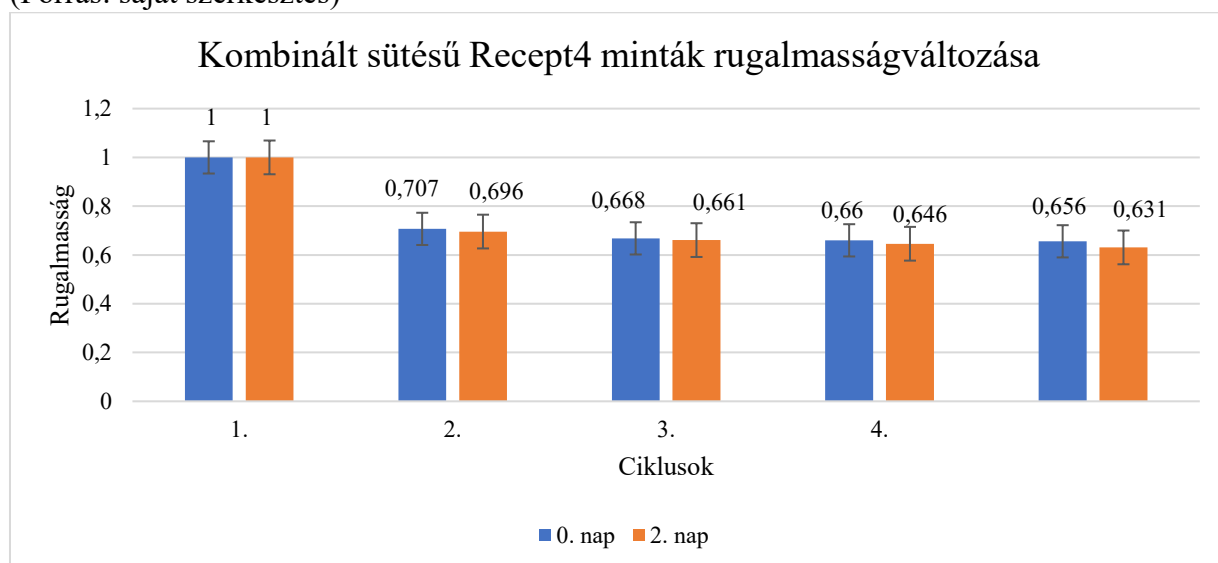
kiszáradt, szerkezete megszilárdult, viszont ezzel együtt jelentősen veszített a rugalmasságából, így nem nevezhető pozitívnak a tárolás eredménye.

9. ábra: Kombinált sütésű Recept4 minták rugalmasságváltozásának vizsgálata
(Forrás: Saját szerkesztés)



A fent említetteket a 10. ábrán látható rugalmasság értékek is nagyban alátámasztják. A korábbi mintákkal ellentétben a Recept4 minták sem a 0. sem a 2. tárolási napon nem a magas rugalmasságú kategóriába tartoztak, mivel rugalmassági értékük egyik ciklusban sem haladta meg a 0,8-as küszöbértéket, így a közepes rugalmasságú osztályba tartoznak, melyekre jellemző a szerkezet részleges sérülése vagy kezdeti öregedése, ezek kevésbé rugalmasak.

10. ábra: Kombinált sütésű Recept4 minták rugalmasságváltozása a 0. és 2. tárolási napon
(Forrás: saját szerkesztés)



A diagramról leolvashatók az egyes tárolási napok mérési eredményeiből számított rugalmassági értékek az egyes ciklusokban. Megfigyelhető, hogy a két mérési nap eredményei

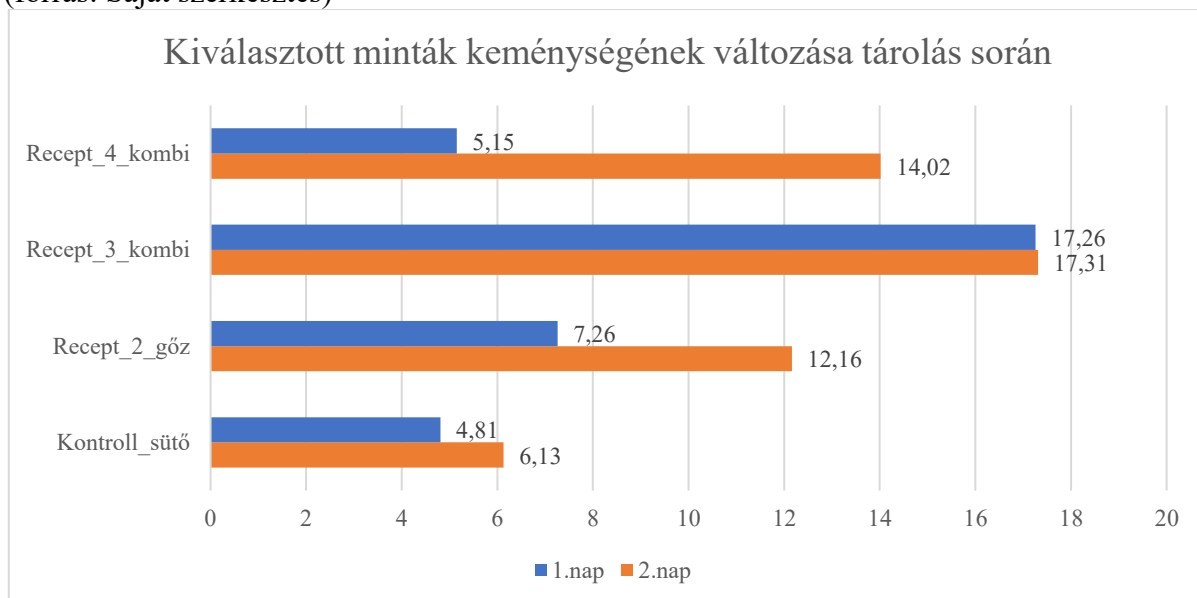
nem térnek el jelentősen egymástól; mindkét esetben közel azonosan, közepesen rugalmas a piskóta. Ebből arra következtettek, hogy a minta csökkent rugalmassága független a mintavételi napokon mért eltérő maximális erőértékektől. Ez inkább azt jelenti, hogy már az elkészítést követően is merev szerkezete volt a tésztának, amelyet a fizikai lazítás hiánya okozhatott. Ennél a mintánál a kombinált sütés sem eredményezett pozitív változást a piskóta állagában, így a tészta negatív állaga, rugalmassága és keménysége a recept összetételére vezethető vissza.

A korábbi mintákhoz képest a Recept4 minta tehát szélsőségesebb viselkedést mutatott: a sült és gőzölt minták esetében a keményedés és rugalmasságvesztés fokozatos, a Recept3 mintánál pedig kifejezetten mérsékelt volt. A Recept4 esetében viszont a tárolás hatása hirtelen és drasztikus: a friss állapotban tapadós, nehezen mérhető, lágy minta rövid idő alatt kemény és merev szerkezetté vált. Ebből arra következtettek, hogy a Recept4 kombinált elkészítési technológiája, azaz a gőzölés és sütés kombinációja, valamint a tojásfehérjehab hiánya nem biztosított stabil textúrát. Így elmondható, hogy amíg a Recept3 esetében a kombinált technológia kiegyensúlyozott, jól tárolható terméket eredményezett, addig a Recept4-nél ez a módszer a textúra széteséséhez, majd gyors kiszáradásához vezetett.

A 11. ábra a kiválasztott 4 minta keménységváltozását ábrázolja a 0. és a 2. tárolási napon. Ez a diagram a 4.3.fejezet ábráinak alátámasztására és összefoglalására szolgál. Az eredmények alapján megállapítható, hogy:

- A Recept_3_kombi minta rendelkezett a legnagyobb keménységi értékekkel mind az első, mind a második napon. A keménységváltozás mértéke ugyanakkor viszonylag kicsi volt, ami stabil, jól tartó szerkezetre utal.
- A Kontroll_sütő minta esetében csak enyhe keményedés volt tapasztalható a tárolás során, így ez a minta őrizte meg leginkább a frissességét és puhaságát.
- A Recept_4_kombi és Recept_2_gőz minták keménysége a második napra jelentősen megnövekedett, ami gyorsabb szerkezeti változásokra és kedvezőtlenebb tárolhatóságra utal.

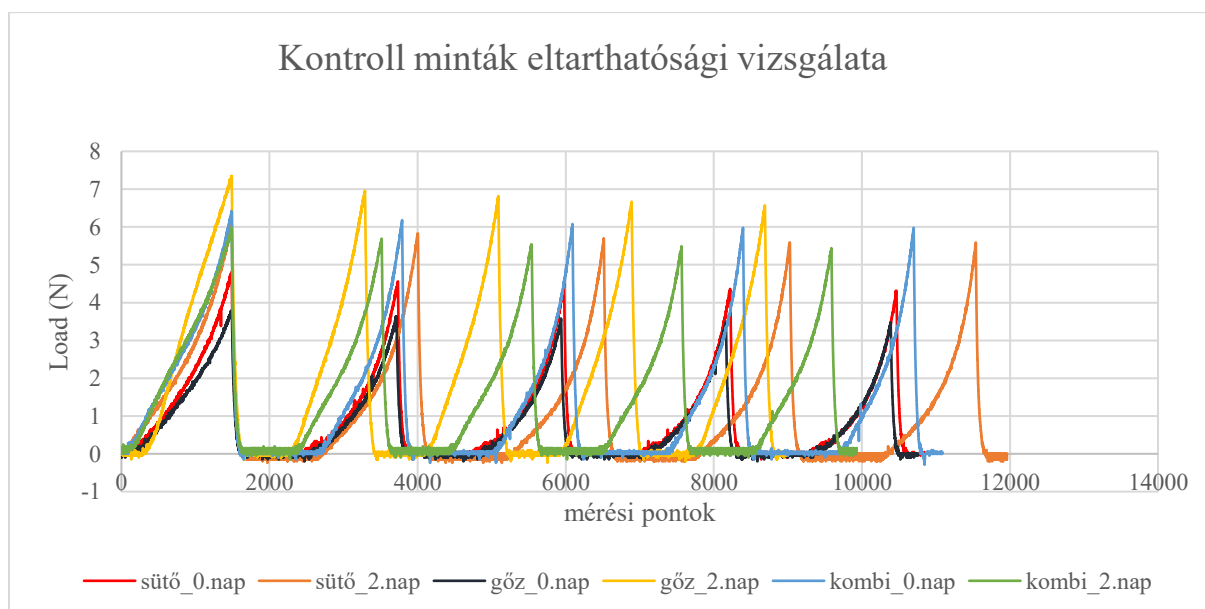
11. ábra: A minták keménységének változása az első ciklusokban
(forrás: Saját szerkesztés)



4.4. A négy receptúra összehasonlítása

A 12. ábra a különböző hőkezelési eljárásokkal (sütő, gőz, kombinált) készült kontroll minták állományának változását szemlélteti két időpontban: közvetlenül az elkészítés után (0. nap) és két nap tárolást követően (2. nap). A görbék a mérések során kifejtett erőt (Load, N) ábrázolja a mérési pontok függvényében, ami a minták szilárdságára, textúrájára utal.

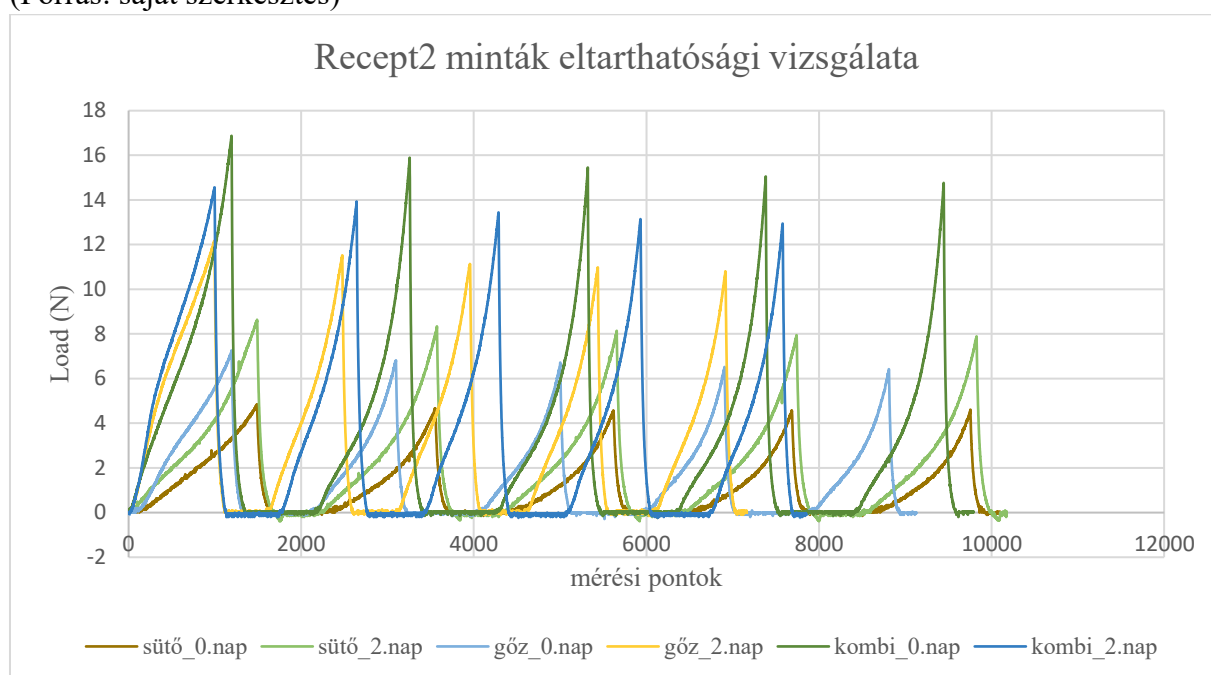
12. ábra: Kontroll minták eltarthatósági vizsgálata
(Forrás: saját szerkesztés)



A sütő_0.nap görbe piros színnel szerepel, de a diagramon nehezen láthatóan jelenik meg, mivel a többi minta görbéjével átfedésben helyezkedik el. A görbe alapján a sült minták a mérés első napján közepesen nagy szilárdságot mutattak, majd a 2. napra (narancssárga görbe) a csúcserőértékek jelentősen nőttek, ami az állomány szilárdulását és kiszáradását jelzi. A gőzölt

minták is hasonló viselkedést mutattak, a 0. napon mind az 5 ciklusban maximum 4 N elegendő volt összenyomásukhoz, a 2. napra viszont ugyanehhez több mint 2 N-nal több erőre volt szükség. Ebből a viselkedésből szintén a kiszáradásra és a szerkezet keményedésére következtettek. A kombinált sütési eljárással készült minták különös viselkedést mutattak, mivel ebben az esetben a 0. napi deformáció vizsgálat igényelt nagyobb erőt, ami jóval meghaladta a sütött és gőzölt minták mért terhelését, ami arra enged következtetni, hogy a kombinált sütés stabilabb, erősebb szerkezetet eredményezett a piskóta mintákban. 2. napra ez az érték minimálisan csökkent, így a többivel ellentétben a tárolás ebben a mintában puhulást és szerkezeti gyengülést eredményezett, ami az eljárás egy pozitív tulajdonságának tekinthető.

13. ábra: Recept2 minták eltarthatósági vizsgálata
(Forrás: saját szerkesztés)

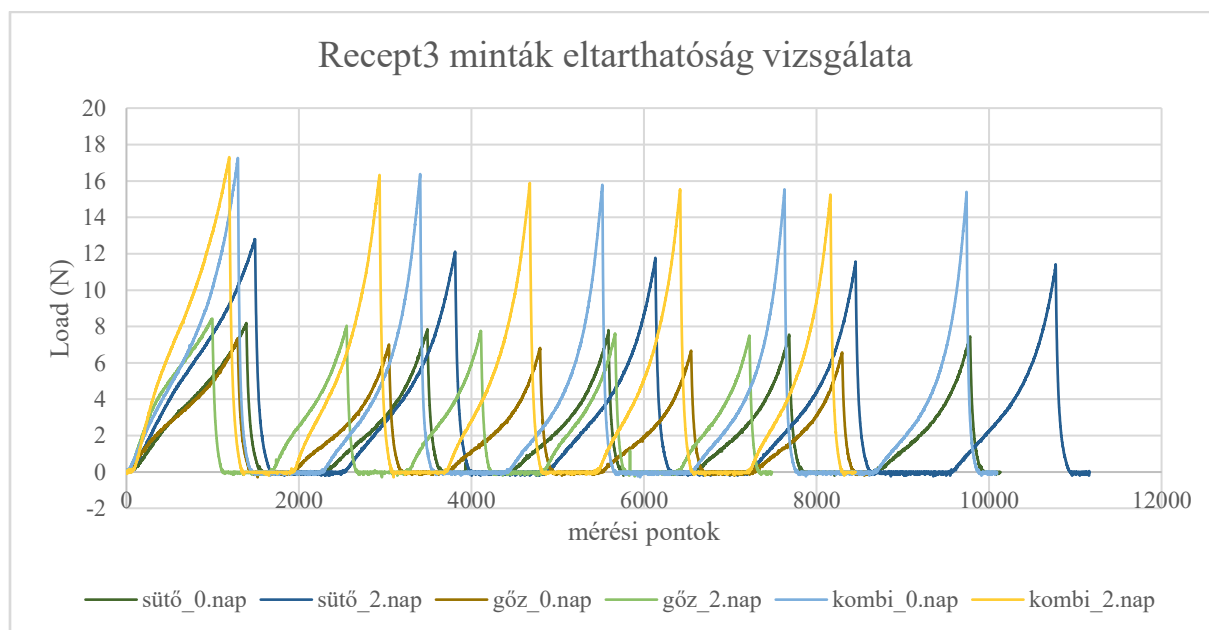


A Recept2 minták közül a 0. napi sütött minta bizonyult a legpuhábbnak, mivel már körülbelül 4 N erő elegendő volt a minta összenyomásához. Két nap elteltével a sütött minta szilárdsága jelentősen megnőtt, a deformációhoz már mintegy 8 N körüli erőre volt szükség, ami arra utal, hogy a minta szerkezete gyorsan kiszárad és keményedik, vagyis a piskóta állománya hamar szikkad. A gőzölt változat friss állapotban valamivel nagyobb erőhatást igényelt az összenyomáshoz, mint a sütött minta, ami kezdetben stabilabb, tömörebb szerkezettel rendelkezett. A 2. napra a mért erőértékek csak kismértékű növekedést mutattak, az eltérés pedig jóval kisebb volt, mint a sütött mintánál megfigyelt különbség. Ebből arra következtettek, hogy a gőzölés kedvezően befolyásolja az eltarthatóságot ennél a receptúránál, mivel lassabban romlik a minta állománya. A kombinált technológiával készült minta viselkedése eltért az előzőektől, mivel a tárolás alatt nem keményedett, hanem enyhén puhulni kezdett, vagyis

állománya lazult. Ez arra utalhat, hogy a kombinált hőkezelés másképp változtatja meg a tézstaszerkezet vízmegtartó képességét, mint az önálló sütési vagy gőzölési eljárás. A minták közül a 0. napi Recept2_kombi minta bizonyult a legszilárdabbnak, hiszen az első ciklus során 16 N erőre volt szükség a deformációjához, emellett két nap tárolást követően is megőrizte stabilitását, így eltarthatósági szempontból ez a változat bizonyult a legkedvezőbbnek.

Az 14. ábra a Recept3 minták eltarthatósági vizsgálatának eredményeit szemlélteti, amelyek a Texture Analyser készülékkel mért deformációs erőértékeken alapulnak az egyes nyomási ciklusok során.

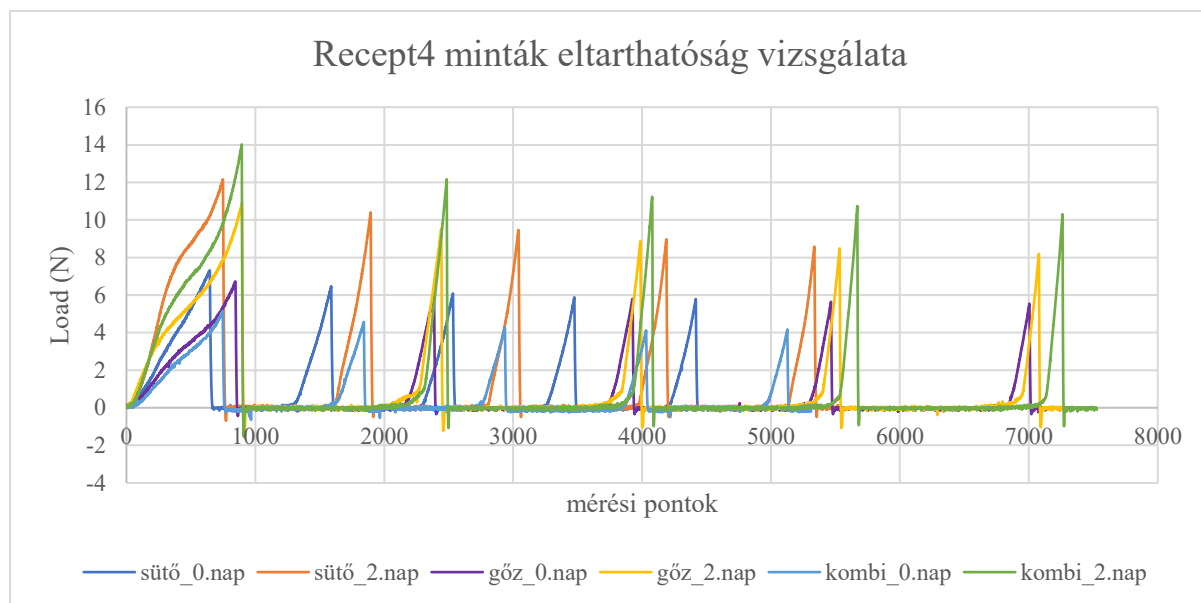
14. ábra: Recept3 minták eltarthatósági vizsgálata
(Forrás: saját szerkesztés)



A kapott eredmények jellegükben eltérnek a korábban vizsgált kontroll és Recept2 mintákétól, ami arra utal, hogy a Recept3 összetétele vagy szerkezete eltérően reagál a hőkezelési eljárásokra és a tárolás hatásaira. A kombinált és gőzölt Recept3 minták a tárolási idő alatt is megőrizték puha, könnyen összenyomható állagukat, ami alacsony szilárdsági értékekben nyilvánult meg. A tárolás nem okozott jelentős keményedést vagy állományromlást, ugyanakkor a görbék alapján megfigyelhető, hogy a rugalmasságuk eltérő mértékben változott. Ez arra utal, hogy a tárolás a belső szerkezeti visszarendeződést befolyásolta, de az általános szilárdságot kevésbé érintette. Ezzel szemben a kombinált technológiával előállított Recept3 minta kiugróan magas kezdeti szilárdsággal rendelkezett, ami tömörebb, feszesebb sütés utáni szerkezetre utal. Ez a viselkedés eltért a kontroll és gőzölt változatok puhább kezdeti állományától, ugyanakkor a tárolás 2. napjára ennél a mintánál is csökkenő tendenciájú deformációs erőértékek voltak megfigyelhetők, vagyis állománypuhulás következett be, ami hasonló jelenség, mint amit a Recept2 minták esetében is tapasztaltam.

A 15. ábra a Recept 4 minták eltarthatóságának vizsgálatát mutatja be, különböző sütési eljárások (sütő, gőz, kombinált) és tárolási idők (0 és 2 nap) összehasonlításával. A Recept 4 minták esetében a tojást teljes mértékben tücsökliszttel helyettesítettem, így a tojásfehérje által biztosított fizikai lazítás és habosító hatás hiányzott. Ennek következtében a szerkezet tömörebb és kevésbé rugalmas lett, amit az ábrán látható erő-távolság görbék is jól tükröznek.

15. ábra: Recept4 minták eltarthatósági vizsgálata
(Forrás: saját szerkesztés)



A sütött minták magasabb csúcserkékei a keményebb, sűrűbb szerkezetre utalnak, míg a gőzölt minták laposabb görbéi azt jelzik, hogy a gőzölés enyhítette ugyan a szilárdságot, de nem hozott létre jól fejlett, levegős szerkezetet. Ennél a mintánál kiugró különbség nem volt megfigyelhető a három sütési eljárás tekintetében, mivel a 0. napon mindhárom sütés esetében aránylag puha, alacsony összenyomási erőt igénylő mérések készültek, a 2. napon pedig mindhárom esetben intenzív keményedés volt megfigyelhető.

5. Következtetések

A vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a piskótatészták szerkezeti tulajdonságai érzékenyen reagálnak mind a receptúra összetételére, mind a hőkezelés módjára. Kutatásom igazolta, hogy a fizikai (tojáshab) és kémiai (sütőpor) lazítás együttes alkalmazása eredményezi a leglazább, legnagyobb térfogatú szerkezetet, ugyanakkor ez gyakran a homogénebb buborékeloszlás rovására történik. A margarin beépítése stabilabb, zártabb, azonban apróbb pórusszerkezetet alakított ki, mivel a zsiradék a buborékok felszínét bevonva gátolta a nagy buborékok képződését. A tücsökliszt teljes tojáshelyettesítőként való alkalmazása ezzel az elkészítési móddal viszont nem biztosította a kívánt szerkezeti tulajdonságokat, mivel bár fehérjetartalma magas, annak funkcionális tulajdonságai (habképző és gázmegtartó képesség) eltérnek a tojásfehérje (ovalbumin) fehérjétől. Ennek következtében a tészták levegőmegtartó képessége és rugalmassága csökkent, a szerkezet tömörebbé és zártabbá vált. A hőkezelési módok közül a gőzölés és különösen a kombinált technológia mutatta a legkedvezőbb hatást a szerkezet szempontjából. A gőz jelenléte elősegítette a nedvesség megőrzését, a pórusfalak egyenletes hőkezelését és a homogénebb szerkezet kialakulását. A kombinált eljárás a gőzölés és az utósütés előnyeit egyesítve kiegyensúlyozott, rugalmas és jól tárolható terméket eredményezett. A Texture Analyser mérések alátámasztották ezeket a megfigyeléseket, mivel a rugalmassági értékek a tárolás során csak kismértékben változtak, a keménység növekedése pedig mérsékelt maradt, ami kedvező reológiai tulajdonságokat jelent.

A kutatás során kapott eredmények alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a tojás teljes helyettesítése tücsökliszttel nem célszerű, azonban a részleges helyettesítés működő irány lehet. További vizsgálatok során érdemes lenne fokozatosan, különböző arányokban beépíteni a tücsöklisztet a receptúrába, és meghatározni azt a küszöbértéket, amely mellett még megőrizhetők a tojás által biztosított kedvező texturális tulajdonságok, emellett lehetőség lenne a fizikai lazítás együttes alkalmazására is. Emellett más elkészítésekkel tovább lehetne vizsgálni a tücsökliszt habképző viselkedését, például margarinnal vagy vízzel habbá verni a tésztát levegősítése érdekében. További kutatási irány lehetne a különböző hőkezelési paraméterek (sütési idő és hőmérséklet, páratartalom, utósütési idő) hatásának részletes vizsgálata, mivel így meghatározható lenne, hogy a szerkezeti homogenitás és a nedvességmegtartás tovább javítható-e, különösen a tücsöklisztet tartalmazó minták esetében. A tárolási vizsgálatok kiterjesztése szintén indokolt lehet, mivel jelenlegi kutatásomban két napos tárolással vizsgáltam a minták szerkezeti változásait, de hosszabb idejű eltarthatósági vizsgálatok, például további két nap részletesebb képet adna az öregedési folyamatokról. Kiegészítő érzékszervi vizsgálatok is szükségesek lennének ahhoz, hogy a tücsökliszt részleges alkalmazásának fogyasztói elfogadottsága is értékelhető legyen, viszont ebben az esetben csak a jogszabályban

meghatározott maximálisan adagolható tücsökliszt mennyiséggel lehetne a vizsgálat elvégzendő.

6. Összegzés

Összességében elmondható, hogy a piskótaminták szerkezeti tulajdonságait jelentősen befolyásolta mind a receptúra, mind a hőkezelési mód. A képanalízis alapján a porozitás, a pórusméret és az alakparaméterek szoros összefüggést mutattak a tészta lazításának módjával és az alkalmazott technológiával. A fizikai és kémiai lazítás együttes alkalmazása növelte a tészták levegőtartalmát, ezáltal lazább, de kevésbé homogén szerkezetet eredményezett. A zsiradék beépítése viszont finomabb, egyenletesebb póruseloszlást és stabilabb morzsaszerkezetet adott, mivel a margarin bevonatot képezett a buborékok felszínén, megakadályozva azok összenövését. A tojásfehérje elhagyása és a tücsökliszt alkalmazása ezzel szemben csökkentette a tészta levegőmegtartó képességét, ami zártabb, tömörebb bélzet kialakulásához vezetett. Hiába magas a tücsökliszt fehérjetartalma, a benne lévő fehérjék nem rendelkeznek olyan mértékű habképző tulajdonsággal, mint a tojásfehérje, így nem járulnak hozzá a lazább, rugalmasabb szerkezet kialakulásához.

A hőkezelési módok összehasonlítása rámutatott, hogy a hagyományos sütés során nagyobb porozitás és pórusméret alakult ki, ami levegősebb, de kevésbé egységes szerkezetet eredményezett. A gőzölés ezzel szemben alacsonyabb porozitást és szabályosabb póruseloszlást adott, a gőz jelenléte ugyanis javította a hő- és nedvességeloszlást, ezáltal elősegítve a homogénebb bélzet kialakulását. A kombinált sütés a két módszer előnyeit egyesítette: a gőz biztosította a kellő nedvességet és térfogatnövekedést, míg az utósütés megszilárdította a szerkezetet. Ennek eredményeként a kombinált technológia kiegyensúlyozott szerkezetet, jó rugalmasság-megőrzést és stabil állományt eredményezett, átmenetet képezve a sült és a gőzölt termékek között.

A Texture Analyser mérések alapján összességében megállapítható, hogy a minták állománya és mechanikai viselkedése szoros összefüggést mutatott a receptúrával és a hőkezelési eljárással. A keménységi vizsgálatok azt mutatták, hogy a kémiai lazító (sütőpor) alkalmazása jelentős szerkezeterősítő hatással bírt, míg a margarin hozzáadása inkább stabilizálta, de részben lágyította a tésztát. A legnagyobb ellenállást a kombinált technológiával sült, margarint- és sütőport is tartalmazó tojással készült minták mutatták, amelyek szilárd, feszes, ugyanakkor jól visszanyúló szerkezettel rendelkeztek. Ezzel szemben a tojást tücsökliszttel helyettesítő minták minden esetben alacsonyabb rugalmassági és szilárdsági értékeket adtak, ami a fehérje funkcionális tulajdonságainak különbségéből adódott.

A rugalmasság (springiness) vizsgálatai igazolták, hogy a tárolás hatására minden mintánál változott az alakvisszanyerés mértéke, de ennek üteme receptúrától és hőkezeléstől függően eltért. A kombinált technológia esetében a rugalmasság csökkenése minimális volt, ami arra

utal, hogy ez az eljárás optimális egyensúlyt teremtett a szerkezeti szilárdság és a frissesség megőrzése között. A gőzölt minták kezdetben lágyabb, viszkoelasztikusabb szerkezetet mutattak, de gyorsabb keményedést tapasztaltam a tárolás során, míg a hagyományosan sütött minták fokozatos, de kevésbé drasztikus változáson mentek keresztül.

A mért adatok egyértelműen alátámasztják, hogy a piskótatészták reológiai tulajdonságai nem csupán az összetevők arányától, hanem a hőkezelési körülményektől is függenek. A gőz, illetve a gőz és utósütés kombinációja kedvezően befolyásolta a nedvességmegtartást és a szerkezeti stabilitást, ezáltal hozzájárult a tárolás alatti textúramegőrzéshez.

7. Irodalomjegyzék

- Aguilar-Toalá, J., Vidal-Limón, A., & Licega, A. (2025). Advancing Food Security with Farmed Edible Insects: Economic, Social, and Environmental Aspects. *Insects*. doi:10.3390/insects16010067
- Ahrné, L., Andersson, C., Floberg, P., Rosén, J., & Lingnert, H. (2006). Effect of crust temperature and water content on acrylamide formation during baking of white bread: Steam and falling temperature baking. *LWT – Food Science and Technology*, 40(10), 1708-1715. doi:10.1016/j.lwt.2007.01.010
- Becker, T., Brandner, S., & Jekle, M. (2022). Gluten–starch interface characteristics and wheat dough rheology - insights from hybrid artificial systems. *Journal of Food Science*, 1375-1385. doi: DOI: 10.1111/1750-3841.16115
- Capuano, E., & Fogliano, V. (2011). Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural (HMF): A review on metabolism, toxicity, occurrence in food and mitigation strategies. *Food Science and Technology*, 793-810. doi:10.1016/j.lwt.2010.11.002
- CT3 Texture Analyzer Operating Instructions. (2015). Middlebor, Massachusetts, USA: Brookfield Engineering Laboratories, Inc. Forrás: <https://www.brookfieldengineering.com>
- Dr. Lakatos, E. (2013). *Élelmiszeripari Technológiák I. Malom-, Sütő- és Édesipar*. Mosonmagyaróvár: Palatia Nyomda és Kiadó Kft. doi:978-963-334-140-7
- Élelmiszerkönyv, M. (2017). Hagyományörző cukrászati termékek - Minőségi és összetételi követelmények. 2008. évi XLVI. törvény 66. § (1) bekezdése alapján. Budapest: Agrárminisztérium.
- Huang, S., & Miskelly, D. (2018). Steamed Bread - A Review of Manufacturing, Flour Quality Requirements and Quality Evaluation. *Cereal Chem.* doi:10.1002/cche.10096
- IKEA. (n. é.). FORNEBY beépíthető sütő, légkeveréses, gőzfunkcióval, rozsdamentes acélszínű (305.577.90). Forrás: <https://www.ikea.com/hu/hu/p/forneby-legkevereses-sueto-direkt-goz-funk-ikea-500-rozsdamentes-acelszin-30557790/>
- Inanlar, B., & Altay, F. (2024). Effects of Egg on Cake Batter Rheology and Sponge Cake Texture. *Journal of Food Process Engineering*. doi:10.1111/jfpe.14765
- Isleroglu, H., Kemerli, T., Sakin-Yilmazer, M., Guven, G., Ozdestan, O., Uren, A., & Kaymak-Ertekin, F. (2012). Effect of Steam Baking on Acrylamide Formation and Browning Kinetics of Cookies. *Journal and Food Science*(77), E1-E7. doi:10.1111/j.1750-3841.2012.02912.x
- Kadam, S., Tiwari, U., & O'Donnell, C. (2015). Improved thermal processing for food texture modification. In J. Chen, & A. Rosenthal, *Modifying Food Texture* (old.: 118). Woodhead Publishing.
- Keményffy, G., & Tóth, I. (1958). *Cukrászkönyv*. Budapest.
- Kovácsné Kálmár, K. (2025). *Sütőipari termékelőállítás*. Budapest: Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft.
- Kriston-Pócsik, J. (2008). *Mit kell sütnöm? - Kenyeret vagy péksüteményt?* Budapest: Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet.

- Liu, Y., Li, M., Guan, E., Liu, Y., Bian, K., & Zhang, Y. (2013). Modification of Soft Wheat Protein for Improving Cake Quality by Superheated Steam Treatment of Wheat Grain. *Foods*. doi:10.3390/foods12162992
- Martins, S., Jongen, W., & Boekel, M. (2001). A review of Maillard reaction of food and implications to kinetic modelling. *Trends in Food Science & Technology*, 364–373.
- Martonné Volf, I., & Hidasi, L. (2019). *Cukrászati Ismeretek*. Budapest: Hermann Ottó Intézet Nonprofit Kft.
- Mesta-Corral, M., Gómez-García, R., Balagurusamy, N., Torres-Leon, C., & Hernandez-Almanza, A. (2024). Technological and Nutritional Aspects of Bread Production: An Overview of Current Status and Future Challenges. *Foods*, 2064. doi:10.3390/foods13132062
- Mondal, A., & Datta, A. (2008). Bread baking - A review. *Journal of Food Engineering*, 465-474.
- Neeharika , B., Suneetha, W., Kumari, B., & Tejashree, M. (2020). Leaving Agents for Food Industry. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. doi:10.20546/ijcmas.2020.909.227
- Purlis, E. (2011). Bread baking: Technological considerations based on process modelling. *Journal of Food Engineering*, 92-102. doi:10.1016/j.jfoodeng.2010.10.003
- Purlis, E. (2012). Baking process design based on modelling and simulation: Towards optimization of. *Food Control*. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.02.034
- Rosell, C. M., & Foegeding, A. (2007). Interaction of hydroxypropylmethylcellulose with gluten proteins: Small deformation properties during thermal treatment. *Food Hidrokolloids* , 1092-1100.
- Rubenthaler, G., Huang, M., & Pomeranz, Y. (1990). Steamed Bread. I. Chinese Steamed Bread Formulation and Interactions. *Cereal Chem*, 471-475.
- Schofield, J. D. (1983). The effect of heat on wheat gluten and the involvement of sulphydryl-disulphide interchange reactions. *Journal of Cereal Science*, 241-253.
- Shahapuzi, N. S., Taip, F. S., Aziz, N. A., & Ahmedov, A. (2014). Effect of oven temperature profile and different baking conditions on final cake quality. *International Journal of Food Science and Technology*. doi:10.1111/ijfs.12679
- Talens, C., Lago, M., Simó-Boyle, L., Odriozola-Serrano, I., & Ibargüen, M. (2022). Desirability-based optimization of bakery products containing pea, hemp and insect flours using mixture design methodology. *LWT – Food Science and Technology*. doi:10.1016/j.lwt.2022.113878
- Tang, C., Yang, D., Liao, H., Sun, H., Liu, C., Wei, L., & Li, F. (2019). Edible insects as a food source: a review. *Food Production, Processing and Nutrition*, 1-13. doi:10.1186/s43014-019-0008-1
- Udomsil, N., Imsoonthornruksa, S., Goslawit, C., & Ketudat-Cairns, M. (2019). Nutritional Values and Functional Properties of House Cricket (*Acheta domesticus*) and Field Cricket (*Gryllus bimaculatus*). *Food Science and Technology*, 598-605. doi:10.3136/fstr.25.597

- UNOX. (2022). *STEAM.Maxi & PRESSURE.Steam Technologies - Technical Description*. Padova.
- van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantemore, P. (2013). *Edible Insects: Future Prospects for Food and Feed Security*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Wang, S., & Copeland, L. (2013). Molecular disassembly of starch granules during gelatinization and its effect on starch digestibility: a review. *Food & Function*, 1564-1580.
- Wilderjans, E., Kerckhofs, G., Lagrain, B., Brijs, K., Wevers, M., & Delcour, J. A. (2010). Baking Gradients Cause Heterogeneity in Starch and Proteins in Pound Cake. *Cereal Chemistry*, 475-480. doi:10.1094/CCHEM-05-10-0048
- Wilderjans, E., Luyts, A., Brijs, K., & Delcour, J. (2013). *Trends in Food Science & Technology* 30, 6-15. doi:10.1016/j.tifs.2013.01.001
- Yadav, R., & Jain, A. (2024). *Baking In Unit operations in food processing*. New Delhi: Scientific Publishers.
- Zakuan Azmi, M. M., Taip, S. F., Mustapa Kamal, S. M., & Chin, N. L. (2019). Effects of temperature and time on the physical characteristics of moist cakes baked in air fryer. *Journal of Food Science and Technology*.
- Zamora, R., & Hidalgo, F. (2007). *Coordinate Contribution of Lipid Oxidation and Maillard reaction to the Nonenzymatic Food Browning*. Sevilla. doi:10.1080/10408690590900117
- Zhu, Y., Xiong, W., Wang, L., & Ju, X. (2020). Insight into the effect of gluten-starch ratio on the properties of Chinese steamed bread (Mantou). *International Journal of Biological Macromolecules*, 1821-1827. doi:10.1016/j.ijbiomac.2020.09.022

8. Ábrajegyzék

1. ábra: ImageJ buborékanalízis: pórusparaméterek változása receptek szerint.....	23
2. ábra: 0. napi minták keménységének összehasonlítása különböző sütési technológiák esetében	24
3. ábra: A sültött kontroll minták rugalmasságváltozásának vizsgálata	27
4. ábra: Sültött Kontroll minták rugalmasságváltozása a 0. és 2. tárolási napon.....	28
5. ábra: Gőzölt Recept2 minták rugalmasságváltozás vizsgálata	29
6. ábra: A gőzölt Recept2 minták rugalmasságváltozása a 0. és 2. tárolási napon	29
7. ábra: Kombinált eljárású Recept3 minták rugalmasságváltozásának vizsgálata	30
8. ábra: Kombinált sütésű Recept3 minták rugalmasságváltozása a 0. és 2. tárolási napon...	31
9. ábra: Kombinált sütésű Recept4 minták rugalmasságváltozásának vizsgálata.....	32
10. ábra: Kombinált sütésű Recept4 minták rugalmasságváltozása a 0. és 2. tárolási napon.	32
11. ábra: A minták keménységének változása az első ciklusokban.....	34
12. ábra: Kontroll minták eltarthatósági vizsgálata	34
13. ábra: Recept2 minták eltarthatósági vizsgálata	35
14. ábra: Recept3 minták eltarthatósági vizsgálata.....	36
15. ábra: Recept4 minták eltarthatósági vizsgálata	37

9. Táblázatjegyzék

1.Táblázat: A vizsgált receptúrák összetétele	15
2. Táblázat: ImageJ binarizált képeinek eredményei.....	20
3. Táblázat: ImageJ buborékanalízis eredményei	21
4.Táblázat: 0.napi minták maximális keménysége az egyes mérési ciklusokban	25

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

6.13. sz. függeléke: A MATE egységes szakdolgozat /

diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója

4.2. sz. melléklete: Nyilatkozat a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről (módosítva: 2025. október 16.)

NYILATKOZAT

a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió¹ nyilvános hozzáféréséről és
eredetiségéről

A hallgató neve:

ECSERI FLÓRA

A Hallgató Neptun kódja:

ZOVNGG

A dolgozat címe:

TÜCSÖKLISZITTEL DÜSÍTÖTT ÉS HAGYOMÁNYOS ASKÓTÁK
SZERVEZETI TULAJDONSÁGAINAK VIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ
SÜTÉSI ELJÁRÁSOK ALKALMAZÁSÁVAL

A megjelenés éve:

2025

A konzulens intézetének neve:

ÉLELMISZERTUDOMÁNYI- ÉS TECHNOLÓGIAI

A konzulens tanszékének a neve:

GABONA ÉS IPARNÖVÉNY TECHNOLÓGIAI INTÉZET
TANSZÉK

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió² egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem. Továbbá kijelentem, hogy a dolgozat elkészítése során alkalmazott mesterséges intelligencia-eszközök (pl. szöveggenerálás, nyelvi javítás, fordítás, adatelemzés) használata nem helyettesítette a saját kutatási és alkotói munkámat, azok alkalmazását a források között vagy a módszertani részben feltüntettem, és a szakmai-etikai elvárásoknak megfelelően jártam el.

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 mindenkor szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. 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 könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: 2025 év 11 hó 03 nap

Ecseri Flóra

Hallgató aláírása

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

6.13. sz. függeléke: A MATE egységes szakdolgozat /
diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója

4.1. sz. melléklete: Konzulensi nyilatkozat

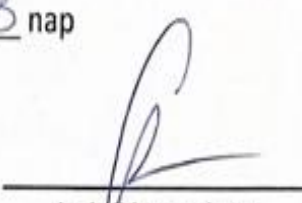
NYILATKOZAT

ECSERI FLÓRIA (név) (hallgató Neptun azonosítója: 20VNGG)
konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a
záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót¹ 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: 2025 év 11 hó 03 nap


belső konzulens

Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

1. Általános adatok

Hallgató neve:	ECSERI FLÓRA
Neptun-kódja:	ZOVN66
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	☒ BSc/BA ☐ MSc/MA ☐ Doktori (PhD) ☐ Egyéb:
Tantárgy neve/kódja*:	SZAKDOLGOZAT 1-2.
A munka címe:	TÜCSÖKLISZTEL DUSÍTOTT ÉS #AGYONMAYOS PISKÓTNÁK

* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

SZERKEZETI TULAJDONSAGAINAK
VIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ
PÍTÉSI ELJÁRÁSOK ALKALMAZÁSÁVAL

2. Nyilatkozat az MI használatáról

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)

☒ A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Amennyiben ezt jelölte, a további táblázatok kitöltése nem szükséges.)

☐ B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Kérjük, töltsse ki a vonatkozó táblázatokat!)

3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése

I. TÁBLÁZAT: Asszisztensi vagy kisebb mértékű felhasználás (pl. fordítás, nyelvi korrektúra, ötletelés stb.)

(Ezen felhasználások esetében a konkrét promptok és válaszok csatolása nem szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve és verziója	Érintett rész (ha nem a szöveg egészére vonatkozik)

II. TÁBLÁZAT: Jelentős tartalmi hozzájárulás (pl. egy teljes ábra vagy egy hosszabb szövegrész generálása)

(Ezekben az esetekben a felhasznált kulcsfontosságú promptok és az MI által adott nyers válaszok dokumentálása és a munka mellékletében való csatolása szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve, verziója, elérhetősége	Az érintett fejezet / ábra / táblázat pontos sorszáma	A prompt-naplót tartalmazó melléklet bejegyzésének sorszáma

--	--	--	--

3/A. Oktató által előírt kiegészítő szabályok (ha vannak)

Amennyiben az adott tantárgy oktatója vagy témavezetője az MI-eszközök használatára vonatkozóan külön szabályokat vagy elvárásokat határozott meg, kérjük, az alábbi mezőben foglalja össze ezeket:

Pl. az MI használatának tilalma bizonyos feladattípusokra; csak konkrét eszköz használata engedélyezett; eltérő hivatkozási elvárások; dokumentációs forma stb.

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

.....

.....

.....

.....

4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:

Kijelentem, hogy az MI által esetlegesen generált tartalmakat minden esetben kritikailag felülvizsgáltam, szerkesztettem és a munkába illesztettem. A leadott munka minden eleméért, annak eredetiségéért és tudományos helytállóságáért teljes körű felelősséget vállalok. Tudomásul veszem, hogy a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem a benyújtott munkát mesterséges intelligencia detektorral ellenőrizheti, és eljárást kezdeményezhet, amennyiben a nyilatkozatom valótlan vagy hiányos.

Kelt: Budapest....., 2025. 11 hó 03 nap

Eszter István

Hallgató aláírása

[Signature]

Konzulens/Témavezető aláírása