

# Doktori (PhD) értekezés tézisei

## KÜLÖNBÖZŐ ÉLELMISZERTARTÓSÍTÁSI ELJÁRÁSOK ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI TARTÓS ÉLELMISZEREK ELŐÁLLÍTÁSÁBAN

*Készítette:*

**Répás Zoltán**  
doktorjelölt

Témavezető: Dr. Győri Zoltán egyetemi tanár, az MTA doktora



DEBRECENI EGYETEM

Táplálkozás- és Élelmiszertudományi Doktori Iskola

Debrecen, 2024



## **1. A doktori értekezés előzményei és célkitűzései**

Napjainkban előtérbe került a modern tudománynak a katonai területen való alkalmazása. A katonai élelmezés több komplex rendszer speciális összessége, ahol a katonák számára elsődlegesen az elfogyasztott élelmiszereken keresztül biztosítani kell az igénybevétel által kívánt makro- és mikrotápanyagokat, kiegészülve a katonai szolgálat szerinti speciális követelményeknek történő megfeleléssel, mint a fogyaszthatóvá tétel, az eltarthatóság és a szállíthatóság.

Kutatásom célja tartós élelmiszerek tartósító eljárásának tervezése, amely által az elkészült termék alkalmas a modern katonai felhasználásra.

**Kutatásom kezdetén az alábbi célokat állítottam össze. Az így elkészült élelmiszer alkalmas legyen:**

**C1:** A magyar katonák számára megfelelő tápanyagtartalommal rendelkezzen.

**C2:** Eltartható legyen legalább 45°C tárolási hőmérsékleten.

**C3:** Legalább 3 év minőség megőrzési idővel rendelkezzen.

**C4:** Ne igényeljen 10 percnél hosszabb előkészületet a fogyaszthatóvá tétele.

**C5:** Feleljen meg a katonai logisztikai igényeknek.

**C6:** Jelentősen ne változzon az étel élvezeti értéke.

**C7:** Alkalmas legyen harctéri élelmezésre.

**A kutatás kérdései:**

**K1:** A kereskedelmi forgalomban megvásárolható élelmiszerek tápanyagtartalmi megfelelnek és elfogadhatóak a rendelkezésre álló tápanyag adatbázisokban közölt adatokhoz viszonyítva?

**K2:** Fagyasztva szárítás technológia alkalmazásával elérhető-e a célkitűzésem szerinti célok?

**K3:** Fagyasztva szárított élelmiszerek esetében elérhető-e az alacsony hőmérsékletű, 50°C alatti és 10 percnél rövidebb idejű rehidratáció, ami visszaadja az élelmiszer eredeti állományát, jellegét?

## Hipotézisek:

**H1:** A nemzetközi és hazai tápanyag adatbázisban közölt adatok nem különböznek szignifikánsan a kereskedelmi forgalomból származó alapanyag táp- és elem tartalmától.

**H2:** A fagyasztva szárítás technológia alkalmazásával megteremthető az elkészült készétel fizikai, kémiai és mikrobiológiai stabilitása.

**H3:** Az élelmiszerek tápanyagtartalma és fizikai jellemzőik nincsenek hatással a fagyasztva szárított élelmiszer minőségére.

**H4:** Megfelelő alapanyagokkal és előkészítési módok alkalmazásával elérhető az alacsony hőmérsékleten, 50°C alatt és 10 percnél rövidebb idő alatti rehidratáció során az élelmiszer eredeti állománya, jellege.

### 1. táblázat: Hipotézisek

Hipotézisek		Alkalmazott módszer	Alkalmazott vizsgálat	Célkitűzések száma/ Kutatási kérdések
<b>H1</b>	A nemzetközi és hazai tápanyag adatbázisban közölt adatok nem különböznek szignifikánsan a kereskedelmi forgalomból származó alapanyag táp- és elem tartalmától.	Analitikai vizsgálatok  Statisztikai elemzés	Tápanyagvizsgálatok Leíróstatistikai elemzés Normalitás vizsgálat T-teszt Wilcoxon teszt	C1, K1
<b>H2</b>	A fagyasztva szárítás technológia alkalmazásával megteremthető az elkészült készétel mikrobiológiai, kémiai és fizikai stabilitása.	Élelmiszer stabilitás vizsgálat	Vízaktivitás mérés. Savszám és peroxidszám mérés	C2, C3, K2
<b>H3</b>	Az élelmiszerek tápanyagtartalma és fizikai jellemzőik nincsenek hatással a fagyasztva szárított élelmiszer minőségére.	Digitális képelemzés,  Színmérés,  Szerkezeti stabilitás vizsgálat	Tápanyagtartalom mérés Színmérés Mikroszkópos felvételek szoftveres mérései Korrelációelemzés Főkomponens analízis	C5, K2
<b>H4</b>	Megfelelő alapanyagokkal és előkészítési módok alkalmazásával elérhető az alacsony hőmérsékleten, 50°C alatt és 10 percnél rövidebb idő alatti rehidratáció során az élelmiszer eredeti állománya, jellege.	Állományvizsgálat  Rehidratációs vizsgálat  Érzékszervi vizsgálat	Nyíróerő mérés WBSF módszerrel.  Rehidratálás különböző hőmérsékleteken és idő alatt.  Regresszió analízis  T-próba	C4, C6, C7, K2, K3

Kutatásom elméleti jelentősége az, hogy a fagyasztva szárított élelmiszerek alacsony hőmérsékleten és relatív rövid időn belüli rehidratációját tanulmányoztam. A liofilizált készételek elérhetőek a kereskedelmi forgalomban, de rehidratációhoz forró vizet és legalább 20 perc időtartamot igényelnek. A bennük levő élelmiszeralkotók vagy por formátumúak vagy viszonylag kicsi méretűek, ami nem tükrözi az eredeti étel valódi jellegét. A rehidratáció nagy energiaigénye, a hosszabb ideje és az alkotók méretkülönbségekből adódó érzékszervi különbség viszont nem teszi lehetővé a katonai felhasználást. Kutatásom során olyan élelmiszer alapanyagokat és előkészítési módokat vizsgáltam, amelyek alkalmassá tesznek egy élelmiszert az alacsonyabb hőmérsékletű, rövidebb idejű rehidratációra úgy, az étel eredeti jellegének megőrzése mellett.

A kísérletek gyakorlati jelentősége az, hogy az általam javasolt alapanyagokkal, előkészítési módokkal és technológiai paraméterek alkalmazásával olyan fagyasztva szárított élelmiszer állítható elő, amely alkalmas 40°C-on 10 percen belüli rehidratációra és minősége nem különbözik jelentősen az adott étel eredeti minőségétől. A kutatás távlati eredményeként az elért mérföldkövek hozzájárulhatnak a katonai harctéri étellemezés modernizációjához, esetleges új típusú élelmiszercsomagok előállításához, ami összességében támogatja a katonai műveletek sikerét. A kísérletek kiterjedtek a nyersanyagok kiválasztásától és az előkészítés módjától, az alkalmazott technológia paraméterek meghatározásán keresztül a fogyasztás körülményéig.

Fontos minőségi, érzékszervi jellemző a termék állománya. Különösen fontos az a tulajdonság, hogy a fagyasztva szárított élelmiszer a rehidratáció során mennyire nyeri vissza az eredeti élelmiszer állományát, illetve tulajdonságát. A múlt század közepén a liofilizált élelmiszerek különböző ízesztjei során a résztvevők általában "rágósnak", "rostosnak" és "szálkásnak" írták le a húsalapú rehidratált ételeket, jellemezve a nem megfelelő textúrát. Olyan kifejezéseket is használtak, mint a "vizes vagy pépes" és a "száraz, de szivárgó és leves", ami a nem megfelelő rehidratációra utal (Bird 1963). Az élelmiszerek vagy túl vagy alul rehidratáltak maradtak (Moody 2019), ezért a fagyasztva szárított élelmiszerek esetében a megfelelő rehidratálás és rehidratáció képesség kialakítása jelenti a legnagyobb technológiai kihívás.

## 2. Anyagok és módszerek

### 2.1. Anyagok

Közepes szemű barna lencsét vizsgáltam, melyeket 2021 decemberében véletlenszerű, szubjektív válogatással 500 g-os kiszereléseken vásároltam magyarországi kereskedelmi forgalomból. A kiválasztási kritérium az volt, hogy a terményeknek forgalmazójuknak vagy a származási országuknak különbözniük kell. Tizenöt féle lencsét vizsgáltam, ami tizenhárom különböző forgalmazótól és két különböző országból származtak. A burgonya mintákat dr. Polgár Zsoltól, a Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem egyetemi tanára bocsátotta rendelkezésemre. A minták a betakarítást követően sötétben, 8–10°C-os hőmérsékleten voltak tárolva, a szokásos burgonyatárolási körülményeknek megfelelően. A minták 6 fajtából (Arany chipke, Balatoni rózsa, Basa, Démon, Hópehely, Somogyi kifli) és 3 fajtajelölből (14.21, Balatoni sárga és Golden river) származtak. A mintaelőkészítés során a burgonyát meghámoztam és 1,5x1,5x0,5 cm-es kockákra aprítottam. A főzést légköri nyomáson végeztem. A mintákat addig főztem, amíg el nem érték a technológiailag főtt állapotot (fajtától függően 35-45 perc). Főzés után hideg, átfolyó csapvízben hűtöttem a 20°C eléréséig. A sertéshúsmintákat, vákuumcsomagolt sertéskarajból (*longissimus thoracis*) készítettem. Ezt az alapanyagot tapasztalati eredmények alapján és megfelelő tervezéssel választottam ki. Kezdetben sertéscomból (*biceps femiris*) készítettem a húsmintákat, de a rehidratáció nagyon nehezen és csak részlegesen ment végbe műszeresen értékelhetetlen eredményekkel. A heterogén szöveti felépítés nem tette lehetővé az egyenletes rehidratációt és érzékszervileg is érzékelhető eltérő állagú részeket eredményezett. A *longissimus thoracis* izomszerkezete egységes, az izomrostok iránya azonosak, ínat vagy zsírszövetet minimálisan tartalmaz. A gazdaságosság szempontjának is megfelelő, közel állandó geometriai formával rendelkezik. Az alapanyag eredete Spanyolország (ES-10.3950/L CE) és Magyarország (HU 1360 EK; HU 510 EK) volt. A különböző földrajzi helyről és forrásból származó hús felhasználásának az volt a célom, hogy eredményeim minél több változót tartalmazó vizsgálat ellenére is általánosan érvényesek és alkalmazhatók legyenek. A minták előkészítéséig a húst 0–4°C közt tároltam és minden esetben a sertés vágása óta eltelt 8-ik napon használtam fel. Ez a módszer megegyezik az Amerikai Hús Tudományos Társaság, (American Meat Science Association, AMSA) által javasolt módszerrel. A csomagolás nyitása után az alapanyagot kereszt irányba, 5 cm széles

szeletekre vágtam, és konyhai kuktában csapvízben főztem 2 kg hús/5,0 l víz arányban. A főzővíz egyik esetben sem tartalmazott hozzáadott sót, fűszert vagy más adalékanyagot, így kiküszöbölhető maradt a kialakuló ozmotikus nyomáskülönbségből fakadó nedvességtartalom és állomány változás. A főzés után a mintákat a főzővízben 1 óra hossza alatt hűtöttem ki, majd hűtőbe helyeztem 5°C hőmérsékleten 24 órán keresztül és mindvégig a saját levével fedve tároltam megakadályozva a felületi száradást. Ez után a 1,27 x 1,27 x 4 cm méretű, hosszanti iránnyal párhuzamos húsrost irányú hústéglatesteket mintákat alakítottam ki az AMSA nyíróerő (WBSF) méréséhez ajánlott módszere szerint (AMSA 2015). A kontrolminták esetében a C1 minta a főzési hőmérséklet 100°C volt, a C2 minta esetében 120°C volt. A C1 és C2 minták állomány vizsgálata során a mérési hőmérsékletét 80°C volt, modellezve a frissen felszolgált étel hőmérsékletét. A C3 mintát főzéssel 120°C-on készítettem és az állományvizsgálatok során különböző hőmérsékletűre melegítettem (50°C; 40°C). A vizsgálatokat és a méréseket háromszor ismétlésben végeztem. Az ételek elkészítéséhez felhasznált rizs, szárzészta, zöldség, gyümölcs, szósok, smoothie és a hal alapanyagokat kereskedelmi forgalomból származtak.

A fagyasztva szárítást a Debreceni Egyetem, Nanofood laboratóriuma által fejlesztett fagyasztva szárító készülékkel végeztem. A minták hőmérsékletét az eljárás során beépített maghőmérővel mértem. A fagyasztva szárítás folyamatot 42°C-os maghőmérsékleten fejeztem be, de a minimális szárítási idő 24 óra volt annak érdekében, hogy lejátszódjon a teljes nedvesség eltávolítás és az utószárítási műveletek is (Ratti 2013). Az eljárást követően a mintákat vákuumcsomagoló berendezéssel azonnal -1 bar nyomáson vákuumtasakokba csomagoltam.

## **2.2. Módszerek**

### **2.2.1. Analitikai vizsgálatok**

A táp- és elemtartalom méréseket a Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Agrárműszerközpontjába végeztem. A minta előkészítés és az analitikai vizsgálatok a Magyar Szabványügyi Testület és a Magyar Élelmiszerkönyv vonatkozó előírásai szerint történt.

### **2.2.2. Digitális képelemzés**

A hús és főtt burgonyák mikroszkópos felvételeit Olympus MVX10 mikroszkóppal, 0,63-4X-es nagyítással (OLYMPUS Corporation, Japán) CellSensEntry

1.18 szoftverhez kapcsolt SZX2-ILLK Transmission Light Illumination rendszerrel (OLYMPUS Corporation, Japán) (OLYMPUS Corporation, Japán) készítettem a Debreceni Egyetem, Táplálkozástudományi Intézet, Táplálkozásgenetika és Genomika kutatócsoport laboratóriumában. A felvételeken a digitális képanalízist a ImageJ 1.54f java 1.8.0\_322 (64-bit) szoftverrel végeztem.

### **2.2.3. Vízáktivitás mérés**

A vízáktivitás meghatározását Walter leírása alapján történt az egyensúlyi relatív páratartalom mérésével (Walter 1931). A relatív páratartalom és a környezeti hőmérséklet mérését ARDUINO NANO hardverhez csatolt DHT22 szenzorral és ARDUINO IDE 2.2.1 szoftverrel végeztem zárt térben, 1 másodperces detektálási idővel a mérési adatok állandóságáig, de legalább 24 óra hosszát. A mért adatok alapján az egyensúlyi relatív páratartalom értékekét Mollier h-x diagramm segítségével 25°C hőmérsékletre átszámoltam a szakirodalmi összehasonlíthatóság érdekében. A számolás során egységesen 100 kPa-nak tekintettem a légköri nyomást.

### **2.2.4. Színmérés**

A színmérést KONICA MINOLTA CR-410 típusú kézi készülékkel a Debreceni Egyetem, Állattenyésztési Tanszék laboratóriumában végeztem a Nemzetközi Világítástechnikai Bizottság (Comision Internationale de l' Eclairage - rövidítve: C I E) által elfogadott  $L^*$   $a^*$   $b^*$  értékek mérésével. A színeltérés meghatározásra az  $\Delta E_{Lab}$  formulát (Mokrzycki és Tatol 2011) alkalmaztam. Az  $L^*$   $a^*$   $b^*$  értékeket használó módszerek elfogadottak a fagyasztva szárított burgonyavizsgálat színmérése során (Pieniazek és Messina 2017).

### **2.2.5. Szerkezeti stabilitási módszer**

Szerkezeti stabilitás vizsgálatot burgonya esetében végeztem. A liofilizált burgonyamintákat vákuumcsomagolásban, szobahőmérsékleten (22°C) napfénytől elzárva, sötét helyen tároltam 45 napig. A fagyasztva szárított burgonyát méret szerint frakcionáltam. Különválasztottam az egész (1cm-nél nagyobb) és a töredezett (10-1 mm közti és 1mm-nél kisebb) frakciókra. Az egész és a töredezett részek arányát százalékos formában fejeztem ki és korrelációanalízist végeztem a burgonya tápanyag adataival.

### 2.2.6. Állományvizsgálat

A fagyasztva szárítás után két óra elteltével a vákuumcsomagolt húskockákat tartalmazó tasakokat kinyitottam és 30°C, 40°C, 50°C hőmérsékletű csapvízzel töltött vízfürdőben rehidratáltam. Az alkalmazott rehidratáció ideje 2; 4; 6; 8; 10 ± 0,5 perc volt. A rehidratációs idők kijelölése az Egyesült Államok, a Védelmi Logisztikai Ügynökség, a Nemzeti Harci Logisztikai Támogató Ügynökségének élelmiszerek előkészítésére vonatkozó követelményének megfelelően határoztam meg miszerint a dehidratált élelmiszerek elkészítésének ideje a katonák esetében 5-12 percen közt lehet (DLA 2020). A mintákat a rehidratáció során véletlenszerűen választottam ki és a metszéshez szükséges nyíróerőt közvetlen mértem. A mérések ismétlése 5-8 volt. Az előkészített mintákat TAXT Plus textúra elemző készülékhez kapcsolt Warner-Bratzler állományvizsgáló készülékkel végeztem, 60°-os V-hornyos penge használatával. A penge haladási sebességét 2,0 mm/s volt.

### 2.2.7. Statisztikai elemzés

A statisztikai elemzéseket R Studio szoftverrel végeztem (R CORE TEAM 2022). Tápanyag vizsgálat során az összes adatot átszámoltam szárazanyagra mg/100g mértékegységre. Meghatároztam az átlagot, a szórást, a mediánt, a terjedelmet, a minimumot, a maximumot, a standard hibát és a variációs koefficiens. Az eloszlás normalitásának a meghatározását Shapiro-Wilk teszttel történt. Ha az adatok normális eloszlást mutattak, akkor a T-próbát, ha nem, akkor a Wilcoxon-tesztet használtam (P=0,05) az adatok összehasonlításához. Az állományvizsgálatok során az eredményeket g-ről N-re konvertáltam 0,00980665-tel szorozva. Az adatok értékelése leíró statisztikai módszerekkel, kétmintás t-próbával és regressziós analízissel történtek. A különböző rehidratáló vízhőmérsékleteken végzett rehidratálási idő közötti összefüggést minden mintára lineáris modellezéssel határoztam meg az alábbi modell szerint:

Érzékenység = rehidratációs víz hőmérséklete + rehidratáció hőmérséklete

Degradáció: a minta eredete, a vásárlás dátuma

$$y = m x + c$$

A főkomponens elemzést XLSTAT 2024.2.0.1420 - Principal Component Analysis (PCA) programmal Microsoft Excel 16.017531 szoftverrel végeztem.

### 3. Eredmények

Az élelmiszertartósítás egy multidiszciplináris tudományterület, ahol a változók egy komplex rendszert alkotnak. Az összetettségre és a nemzetközi vonatkozásban is alkalmazható eredmények érdekében a minél szélesebb kutatási spektrum feltárása volt a céлом. Az egyes vizsgálatok során mintának azon élelmiszeralapanyagokat választottam ki, amelyeket relevánsnak tartottam a mérések elvégzéséhez és relevánsak a hipotézis vizsgálata szerint.

#### 3.1. Tápanyagvizsgálatok

A dietetikai gyakorlat szerinti étrend tervezések alapjául szolgáló tápanyag adatok a különböző tápanyagtáblázatokból származnak, melyek referencia adatokat tartalmaznak. Tekintettel arra, hogy a katonai szolgálat speciális, nagy igénybevétellel járó feladatvégzés, amely fokozott fizikai és szellemi megterheléssel jár, így meglátásom szerint az étrendi tervezések különös odafigyelést igényelnek.

A lencse általánosan ismert előnyei, mint a termelési költsége, a kereskedelmi ára, az eltarthatósága, a változatos elkészítése és a könnyű szállíthatóságán túl előnye még, hogy hüvelyesek közül legmagasabb a fehérje tartalma, és tartalmazza az összes esszenciális aminosavat. A lencséből készült liszt széleskörűen felhasználható, amely kiváló és kiegyensúlyozott tápanyagösszetétellel rendelkezik.

A minták fehérjetartalmát tekintve a mennyisége átlagosan 26,8 g/100g, mediánja 27,0 g/100g volt. A minimális érték 24,4 g/100g, a maximális 28,6 g/100g volt. A variációs együttható 4,0 volt, ami homogénnek tekinthető. A minták leíró statisztikai elemzése alapján a homogén ásványi anyagok a következők voltak: Mg, K, Zn, S, P, Cu, S és Ca. Közepes változékonyságot mutatott a Fe és a Mn mennyisége. Származási ország tekintetében a 15 mintából 10 minta Kanadából származott, így azok vonatkozásában külön is elvégeztem a leíróstatisztikai elemzést, amely alapján a kanadai minták fehérjetartalma és a Na, K, Ca, Mg, P, Zn, Mn és S mennyisége homogén volt. Közepes variabilitást mutatott a Fe és a Cu mennyisége. A nagymértékű homogenitás miatt a téves következtetés lehetősége statisztikai értelemben bár megtörténhet, de esélye minimális,  $p=0,05$ . Az elem és tápanyag tartalom mérési eredményeimet statisztikai módszerrel összehasonlítottam a USDA, Anglia, Ausztrál, FAO 2019, FAO 2012, India, FAO 2017a, FAO 2017b adatbázisokban közölt adatokkal. Az összehasonlítás során sok szignifikáns

különbséget találtam. A Na, Ca, Mg, Cu jelentős különbséget mutatott az USDA, az angolai, az ausztráliai, az összes FAO és az indiai adatbázisokhoz képest. A K, Fe, P mennyisége részben, a Mn mennyisége a legkevesebb különbséget mutatta az adatbázisokban közzétett mennyiségekhez képest. A fehérjetartalom mennyisége egyezett a legjobban (50%). A Zn mennyisége nem mutatott szignifikáns különbséget ( $p=0,05$ ), kivéve az ausztrál és egy FAO adatot. Az adatbázisok egyezősége tekintetében az ausztrál adatbázis esetében tapasztaltam a legtöbb eltérést, ami a nagy földrajzi távolság miatt elfogadhatónak tekintettem. A többi adatbázis esetében 2-4 vizsgált ásványi anyag vagy fehérje esetében volt hasonlóság, de a legtöbb ásványi anyag mennyisége statisztikailag szignifikáns különbséget mutatott a minták nagyfokú homogenitása ellenére. Az eltérések irányát vizsgálva megállapítható, hogy a mért értékek eltérése pozitív irányú volt, magasabbak voltak, mint az adatbázisokban feltüntetett referenciaértékek. A Ca, Mg, Fe esetében közel kétszeres volt az eltérés nagysága, ami meglátásom szerint már jelentős. Az előzőekben részletezettek miatt a kanadai minták eredményeivel külön összehasonlítást végeztem az észak-amerikai adatbázisokkal. Az összehasonlító statisztikai elemzés eredményeként a minták fehérje tartalma nem mutatott eltérést az észak-amerikai adatbázisokhoz képest. Az USDA adatbázisában közölt adatoktól a Mn mennyisége nem különbözött szignifikánsan, de a Na, K, Ca, Mg, P, Fe és Cu mennyisége azonban minden esetben szignifikánsan különbözött. A kanadai adatbázishoz képest minden elem mennyisége szignifikáns különbséget mutatott annak ellenére, hogy Kanadából származó mintákat elemeztem. Az adatokat összehasonlítottam a magyar dietetikai tervezés alapjának tekintendő Új Tápanyagtáblázatban közölt adatokkal (Rodler 2005). A statisztikai összehasonlítás eredményeként a Na, K, Ca, Fe és Cu mennyiségében szignifikáns különbségeket tapasztaltam. Vizsgálataim során jelentős eltéréseket mutattam ki a kereskedelemben kapható lencse ásványianyag tartalma és Világ legnagyobb mezőgazdasági és élelmiszeripari szervezetei által közzétett irányadó adatbázisok adatai között. A többi referencia adatbázisból csak néhány érték volt, amely azonosnak tekinthető ( $p=0,05$ ) az alkalmazott statisztikai tesztek alapján. A legtöbb egyezést a FAO adatbázisaiban találtam. Különböző étrendi vagy diétás tervezés során nélkülözhetetlen a pontos tápanyag összetétel ismerete. Az étrend tervezés a tápanyag adatbázisok adatain alapulnak. Az ásványianyag tartalom mérési eredményeink többsége homogén volt, ami stabil alapot ad a további elemzésekhez, de a tápanyag adatok a nagy adatbázisokban

közölt adatokkal összehasonlítva szignifikáns különbségeket mutatott, még ugyanazon termelő ország esetében is. Az eredményeim alapján arra lehet következtetni, hogy a jelenleg rendelkezésre álló adatok alapján nem lehet kellően pontos érendi ajánlásokat kidolgozni.

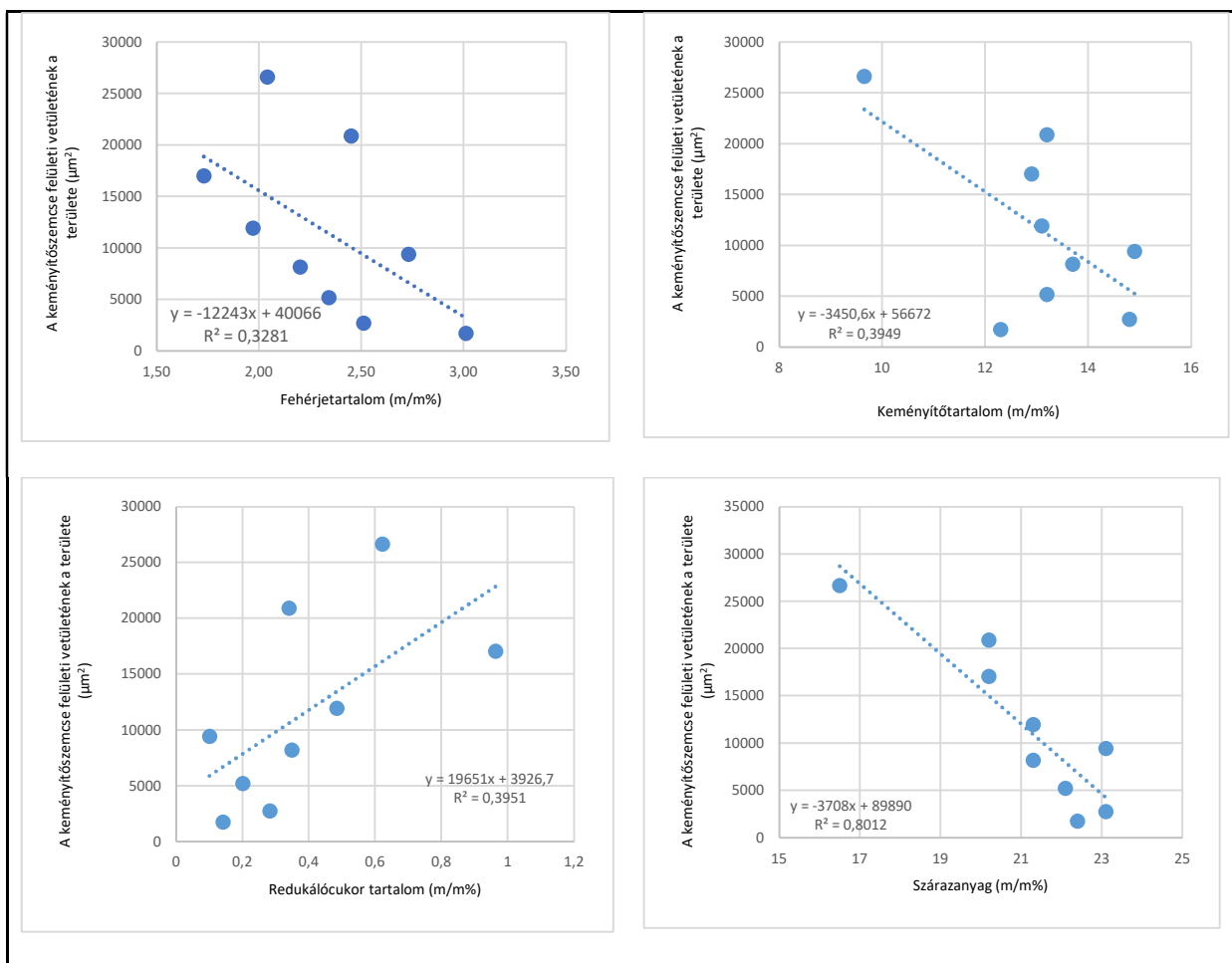
### 3.2. Képanalízis

A vizsgálat során a fagyasztva szárított burgonya mintákon a kristályosodott keményítőszemcséknek megmértem a látható felületének a 2D területét, 10 mérést végeztem, az eredményekből matematikai átlagot számoltam. A mérések eredményét a 2. táblázat tartalmazza.

**2. táblázat:** A fagyasztva szárított burgonya keményítőjének mérete

Fajta/ fajta jelölt	Terület ( $\mu\text{m}^2$ )
Balatoni sárga	26 635,21
Golden river	20 896,01
Hópehely	17 032,35
Basa	11 938,24
Arany chipke	9 407,26
14 21	8 174,22
Balaton rózsza	5 194,15
Démon	2 729,72
Somogyi kifli	1 737,04

A fagyasztva szárított burgonya keményítő szemcséjének a mérete és fehérje tartalma közt az  $r$  érték  $-0,573$  és keményítő tartalma közt  $-0,628$ , ami statisztikailag közepes korreláció, jelentős kapcsolatra utal. A nyers burgonya szárazanyagtartalma közt az  $r$  értéke  $-0,895$ , ami magas korreláció, markáns kapcsolatra utal a változók közt. A korrelációkat az 1. számú ábra tartalmazza.



1. ábra A fagyasztva szárított főtt burgonya keményítőszemcséjének és tápanyagtartalmának kapcsolata

### 3.3. Vízáktívitás és oxidáció

A vízáktívitás mérésekkel kapcsolatos adatokat és eredményeket a 3. táblázat tartalmazza:

3. táblázat: Fagyasztva szárított élelmiszerek felett zárt térben mért egyensúlyi relatív páratartalom értéke és az adatokból számolt vízáktívitás

Anyag	Mérési hőmérséklet (°C)	ERP%	ERP% 25°C-ra	aw
Sertéskaraj	22,1	12,0	~10	0,1
Sertéspörkölt	22,2	12,1	~10	0,1
Főtt burgonya	22,1	12,1	~10	0,1
Főtt rizs	22,0	12,0	~10	0,1
Spagetti szósz	22,1	12,1	~10	0,1
Szárzészta	22,2	12,0	~10	0,1

Az általam mért eredmények hasonlóak más szerzők által publikált vízakaktivitás értékekhez, így azokat elfogadtam. A vízakaktivitás hatással van a mikrobiológiai aktivitáson túl a biokémiai romlási folyamatokra is. Zsírok szempontjából 0,3-0,5 vízakaktivitás érték a kívánatos (Troller 1989). A magas vízakaktivitás gátló hatással van a lipid kezdeti oxidációjára, de a lipid bomlástermékeinek másodlagos reakciói fokozzák a fehérjék oxidációját (Kanner és Karel 1976). Az oxidáció nem csak a lipideket de a fehérjéket is érinti (Di Bernardini, és mtsai. 2011). A fehérjékben kialakuló szabadgyökök reagálnak a peroxid lipidekkel. Az általam készített élelmiszerek avasodásával kapcsolatos mérések eredményét a 4. táblázat tartalmazza:

**4. táblázat:** Fagyasztva szárított élelmiszerek avasodás vizsgálatának eredményei (vizsgálat ideje: 2023. június hónap, a minta megnevezésében szereplő dátum a készítés idejét jelöli)

	<b>Karaj 2022.04.</b>	<b>Karaj 2023.02.</b>	<b>Hering 2023.02.</b>	<b>Lecsó 2022.04.</b>	<b>Spagettiszósz 2023.02.</b>	
Savszám (mg KOH/g zsír)	8,48	5,29	9,34	14,10	7,22	Fagyasztva szárított mintára kapott eredmény
Peroxidszám (mekv. O <sub>2</sub> /kg zsír)	58,80	37,20	135,00	544,00	28,60	
Savszám (mg KOH/g zsír)	2,88	1,80	2,80	3,67	0,79	Rehidratált tömegre számolt eredmény
Peroxidszám (mekv. O <sub>2</sub> /kg zsír)	19,99	12,65	40,50	141,44	3,15	

Az adatok értékelése során a Magyar Élelmiszerkönyv általánosságban az élelmiszerekre az „idegen szagtól mentes” kifejezést használja az avasodás tényének megállapítására, a 2-221 étolajokra vonatkozó irányelv kivételével konkrét határértékeket nem határoz meg. A szűz és hidegen sajtolt étolaj savszáma legfeljebb 4,0, a pálmaétolaj savszáma legfeljebb 10,0 mg/KOH/g és peroxidszáma 10,0 mekv. O<sub>2</sub>/kg zsír lehet. Állati takarmányok esetében a Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Miniszter 45/2001. (VI. 25.) FVM rendelet 6. melléklete szerint a takarmány savszáma maximálisan 50 mg/KOH/g és a peroxidszáma maximálisan 25 mekv. O<sub>2</sub>/kg zsír lehet (Magyar Közlöny 2001/7). Az eredményeimet összehasonlítottam más szerzők által közölt értékekkel. Fagyasztva szárított darált marhahús peroxidszáma 10,42 mekv. O<sub>2</sub>/kg (Aksoy, és mtsai. 2019), fagyasztva szárított sertéshús 6 hetes atmoszférikus nyomáson szilikagél tartalmazó környezetben 83,3 mekv. O<sub>2</sub>/kg (Rahman, és mtsai. 2005) volt. Az összehasonlítás és a Magyar Élelmiszerkönyv előírásai alapján az általam mért értékeket

általánosságban magasnak értékelem. Az avasodáshoz hozzájárult, hogy a nem kereskedelmi forgalomban vásárolt kész élelmiszerek nem tartalmaztak antioxidáns adalékanyagot, a kereskedelmi forgalomban vásároltak esetében pedig nem az alkalmazott technológiára lettek méretezve az adalékanyagok mennyisége a gyártás során. Az alkalmazott csomagolótechnológia és csomagolóanyag nem volt specifikus

A fentiek alapján a legnagyobb veszélyt a rendszerben maradó oxigén jelenti, így a tároláshoz élelmiszeripari felhasználásra alkalmas  $N_2$  vagy Ar védőgáz vagy vákuum használata javasolt fényt és oxigént át nem eresztő csomagolásba.

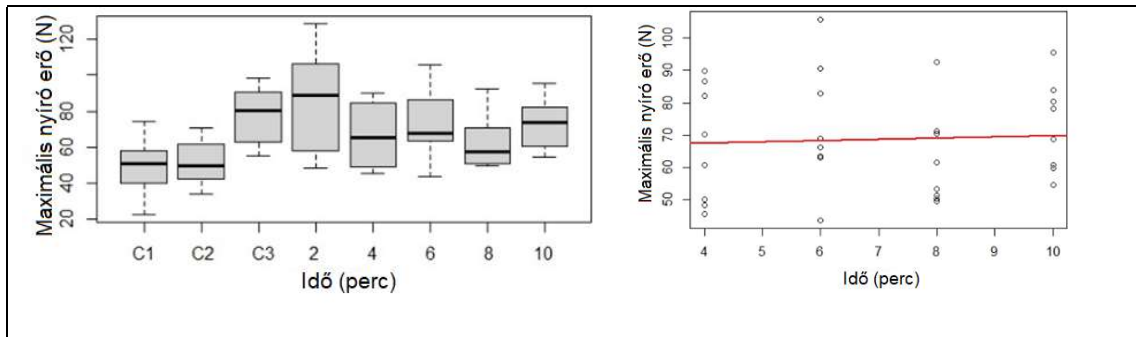
### 3.4. Színmérés

A burgonya színét meghatározó értékekkel és tápanyagtartalmának összevetésével korreláció analízist végeztem. A szárazanyagban lévő redukáló cukrok mennyisége és a színmérések közötti korreláció értéke főtt burgonya esetében az  $L^*$  értékével  $-0,4279$ , a  $b^*$  értékével pedig  $-0,4471$ , a kapcsolat alacsony volt, rehidratálás után a korreláció az  $a^*$  értékkel  $0,4947$  volt. A színértékek különbségeit elemezve a nyers és a főtt burgonya közötti fényesség változásának a nagyságának ( $\Delta L^*$ ) és korrelációja  $0,5789$  volt. A nyers burgonya redukáló cukor szintjének növekedése a főtt termék fényességének növekedését eredményezte, ez a változás a főtt és rehidratált burgonyánál is megfigyelhető volt. A korrelációs együttható értéke  $0,5096$  volt, ami mérsékelt pozitív korrelációt jelez a redukáló cukrok mennyisége és a  $\Delta a^*$  változása között. Ezenkívül a  $\Delta a^*$  változás nagysága is pozitív korrelációt mutatott,  $0,5288$ -as értékkel. A szárazanyagban lévő keményítő mennyisége és a nyers burgonya  $a^*$  értéke között erős negatív előjelű korreláció volt megfigyelhető ( $-0,7196$ ), ami szignifikáns összefüggésre utal. Ezenkívül a keményítő mennyisége a fagyasztva szárított burgonya  $L^*$  értéke  $0,5770$ -es korrelációs együtthatót mutatott, amely még a rehidratálás után is fennmaradt és mérhető volt ( $0,6079$ ). A nyers és a főtt burgonya közötti kapcsolat a  $\Delta a^*$  és  $\Delta b^*$  színparaméterek esetében volt a legerősebb,  $-0,7464$ , illetve  $0,6076$  korrelációs együtthatóval. Mérsékelt korreláció volt a főtt és a rehidratált burgonya  $\Delta L^*$  világossági paramétere között,  $0,5796$ -os korrelációs együtthatóval. A szárazanyagban lévő fehérje mennyisége mérsékelt negatív korrelációt mutatott a nyers burgonya  $L^*$  világossági paraméterével ( $r=-0,6055$ ,  $b^*=0,6116$ ). Ez a korreláció azonban a rehidratálás után csökkent,  $0,4514$ -es korrelációs együttható értékre és  $-0,5337$  korrelációs együttható értékre történő  $L^*$ -érték csökkenéssel. A burgonya szárazanyagra számolt fehérjetartalma

és színe között (b\*) jelentős kapcsolatot mértem, amit főtt burgonya 0,6878-as korrelációs együtthatója bizonyít. A fehérjetartalom és az L\*-érték változása közötti korreláció a nyers és a főtt állomány között -0,7168 volt, a főtt és rehidratált állapot L\* értékei között -0,5268 volt. A szerkezeti stabilitás vizsgált eredményei és a fényérés eredményei között is végeztem korreláció analízist. A korreláció értéke az egész, nem töredezt fagyasztva szárított főtt burgonya és a nyers L\* érték között -0,6112, a főtt érték között pedig 0,5812. A nyers és a főtt burgonya közötti fényesség változás és az egészben maradt részek közötti kapcsolat 0,7013 volt.

### 3.5. Állományvizsgálat

Az állományváltozás méréseket rehidratált sertéskarajon végeztem. A mérési eredmények variációs koefficiens értékének nagysága viszonylag magas volt, ami statisztikailag közepes vagy erős változékonyságra utal. Az adatok elfogadása vagy elvetése előtt összehasonlítást végeztem más szerzők által mért WBSF mérések eredményeinek variációs koefficiens értékével, az adatok hasonlóságot mutattak, ezért azokat elfogadtam. Az 50°C-on végzett rehidratáció mérések eredményeit és a rehidratációs idő és a nyíróerő közötti regressziós egyenest a 2. ábra mutatja.

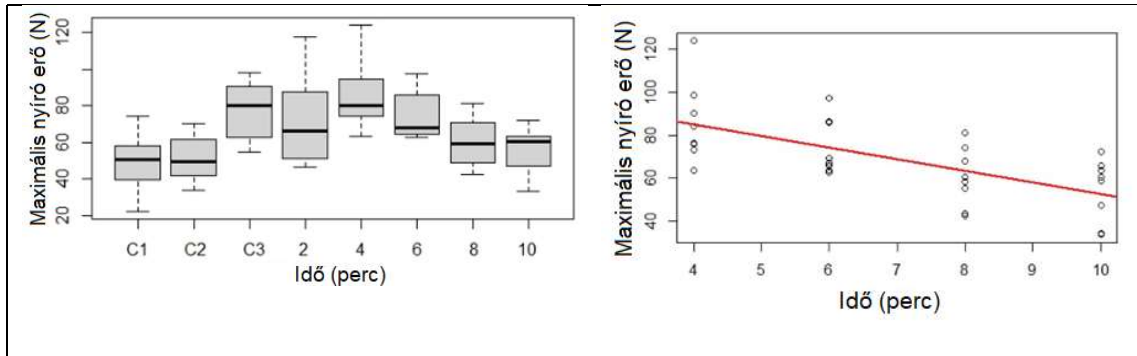


**2. ábra** 50°C-on rehidratált fagyasztva szárított sertéskaraj átlagos maximális nyíróerő értéke a rehidratációs idők szerint (C1=kontroll 100°C; C2 = kontroll 120°C; C3 = kontroll 50°C) és a maximális nyíróerő értéke és regressziós egyenese a rehidratációs idők szerint

Az 50°C-on végzett állományvizsgálat során a maximális nyíróerő átlagolt eredményei magasabbak voltak, mint a 80°C-ra melegített C1 és C2 kontroll minták értékei, de ez az eltérés már nem volt tapasztalható az 50°C-ra újramelegített kontroll minták esetében. A különbség az eltérő hőmérsékletből adódik (Laakkonen 1973), ezért azt elfogadtam. Az adatok értékelés során a 2 perces adatok esetében a mérési

eredmények variációs koefficiens értéke 34,6 volt, amely erős változékonyságra utal, de ez az érték folyamatosan csökkent a rehidratációs idő növekedésével 19,4-re a 10. percre. A regressziós értékek tekintetében az  $R^2$  értéke 0,0385 volt (p-érték: 0,804) ami alapján nem lehetett lineáris kapcsolatot kimutatni a változók között.

A 40°C-on végzett rehidratáció mérések eredményeit 3. ábra tartalmazza.



**3. ábra** 40°C-on rehidratált fagyasztva szárított sertéskaraj átlagos maximális nyíróerő értéke a rehidratációs idők szerint (C1=kontroll 100°C; C2=kontroll 120°C; C3=kontroll 50°C) és a maximális nyíróerő értéke és regressziós egyenese a rehidratációs idők szerint

A variációs együtthatók magas értéke (CV=17,6-24,7) miatt további statisztikai számításokat végeztem a rehidratációs idő és a maximális nyíróerő közötti esetleges kapcsolat vizsgálatára. Az adatelemzés során csak a 40°C-on végzett mérések eredményeit vettem figyelembe. A tényleges és statisztikai értelemben vett különbség megállapítására kétmintás t-próbát végeztem melynek eredményeit a 4. táblázat tartalmazza.

**4. táblázat:** A rehidratációs idő közötti T-próbák eredményei (p-érték)

Rehidratálási idő (perc)	4	6	8	10
4	-	0,062	0,079	0,006*
6		-	0,735	0,209
8			-	0,509

\* Szignifikáns különbség ( $p \leq 0,05$ )

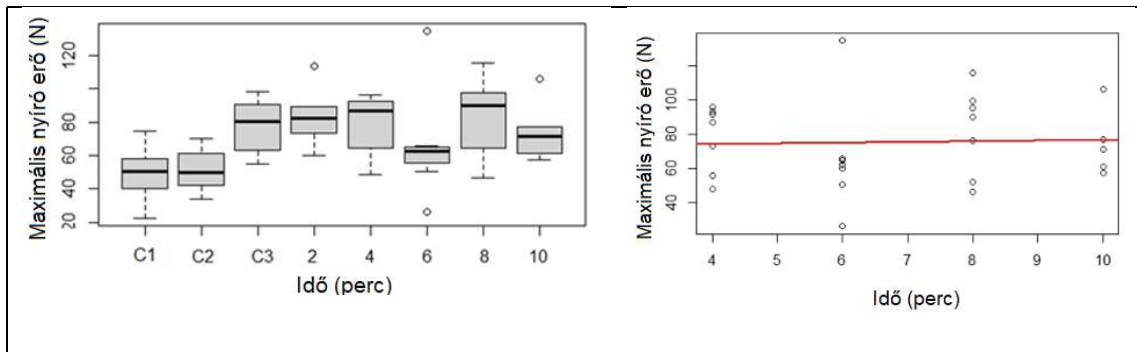
A kétmintás t-próba ( $p \leq 0,05$ ) eredményei alapján megállapítható, hogy nincs szignifikáns különbség a 4-6, 6-8 és 8-10 perces eredmények közt, de a 4 és a 10 perces eredmények közt viszont a nagy szórás ellenére is szignifikáns különbség van. A

rehidratációs idő és a szükséges nyíróerő kapcsolatának megállapítására regresszió analízist végeztem. Az elemzés során az időegységek (4, 6, 8 és 10 perc) szerinti a nyíráshoz szükséges maximális erő átlagaival számoltam. A legjobb eredményeket ezen a hőmérsékleten történő rehidratáció során értem el. A nyíráshoz szükséges erő nagyságában a 40°C-on mért kontroll mintákhoz képest alacsonyabb értékeket mértem és 10 perc rehidratálás után értem el a 80°C-ra melegített kontrollminták nyíráshoz szükséges erő értékét. Fokozatos csökkenő tendencia figyelhető meg 4 percnél kezdődő mérési eredménytől. A kapcsolat megállapításához a regresszióanalízist a 4, 6, 8 és 10 percnél kapott eredményekkel végeztem. Az elemzés eredményeként kapott  $R^2 = 0,976$  és a korrigált  $R^2 = 0,964$  volt ( $p$ -érték = 0,0121) ami erős függő kapcsolatra utal a 40°C-on végzett rehidratáció során az állomány keménysége és az időváltozása közt.

$$\text{Az egyenes egyenlete } y = -5,406x + 106,65$$

A többszöri megerősítő számolás alapján megállapítható, hogy lineáris, erős függő kapcsolat van változók között. A 40°C-on végzett rehidratációs tesztek során sikerült elérnem azt a szerkezeti állományt amint a C1, C2 és C3 kontrollminták esetében mértem.

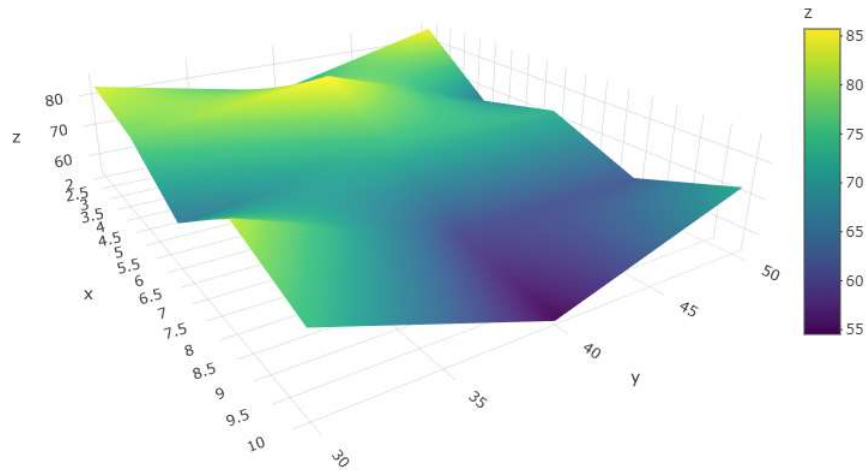
A 30 °C-on végzett rehidratáció mérések eredményeit és a rehidratációs idő és a nyíróerő közötti regressziós egyenest a 4. ábra mutatja.



4. **ábra** 30°C-on rehidratált fagyasztva szárított sertéskaraj átlagos maximális nyíróerő értéke a rehidratációs idők szerint (C1=kontroll 100°C; C2 = kontroll 120°C; C3= kontroll 50°C) és a maximális nyíróerő értéke és regressziós egyenese a rehidratációs idők szerint

A 30°C-os rehidratálás hőmérsékleten végzett vizsgálatok során nem lehetett elérni a kontrollminták esetében mért 80°C-on mért értékeket. A legnagyobb eltéréseket

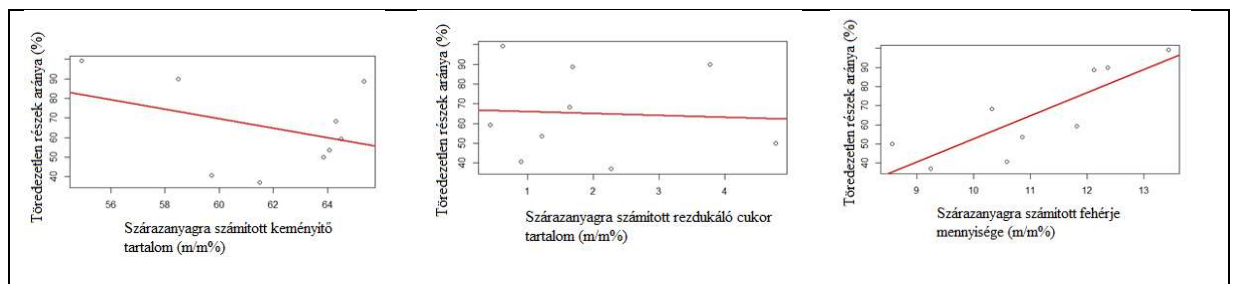
és a legnagyobb kiugró értékeket ezen a hőmérsékleten végzett vizsgálatok során mértem. A regresszióanalízis során kapott eredmény szerinti  $R^2=0,0141$  ( $p=0,882$ ) volt, a legalacsonyabb eredmény, amit a méréseim során tapasztaltam. Az adatok alapján nem lehetett lineáris kapcsolatot kimutatni a változók között ezen a rehidratációs Az átlagos nyíró erő (WBSF) eredményeket összefoglalva a 5. ábra mutatja.



**5. ábra** A nyírásához szükséges erő és a különböző hőmérsékleten és idő alatti rehidratálás kapcsolatának felületi diagramja, ahol  $x$ =idő (perc),  $y$ =rehidratációs víz hőmérséklete ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $z$ =WBSF (N)

### 3.6. Szerkezeti stabilitás vizsgálat

A frakcionálás eredményeit és a burgonya tápanyag tartalma közt korreláció analízist végeztem annak érdekében, hogy meghatározzam, mely tápanyagtartalomhoz köthető a fagyasztva szárított főtt termékek esetében tapasztalt szerkezeti stabilitás változás. A statisztikai elemzés diagrammba foglalt eredményei tápanyagtartalom szerint a 6. ábra mutatja. Az analízist az egész részek arányával számolva végeztem.



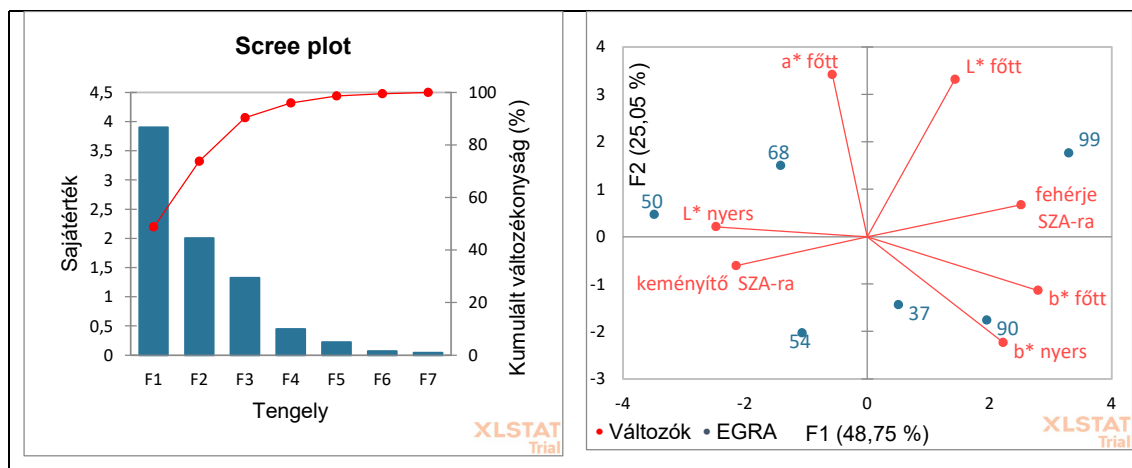
**6. ábra** Fagyasztva szárított burgonya szerkezeti stabilitás és a burgonya szárazanyagtartalmával kapcsolatos korrelációs eredmények

A számított keményítő tartalom és a stabilitás szerkezeti vizsgálat során kapott adatok közötti korreláció értéke -0,3723 az,  $R^2$  értéke 0,0140 volt ( $p=0,05$ ), statisztikailag nincs kapcsolat a változók között. A szárazanyagra számított redukáló cukor tartalom és a stabilitási szerkezeti vizsgálat során kapott adatok közötti korreláció értéke -0,0602 az,  $R^2$  értéke 0,0036 volt ( $p=0,05$ ), statisztikailag nincs kapcsolat a változók között. A szárazanyagra számított fehérje tartalom és a stabilitási szerkezeti vizsgálat során kapott adatok közötti korreláció értéke 0,8276 az,  $R^2$  értéke 0,685 volt ( $p=0,05$ ) ami statisztikailag erős a kapcsolatra utal a változók között.

Az egyenes egyenlete (átlag)  $y=12,065x+68,029$

A fagyasztva szárított főtt burgonya jellemzőivel kapcsolatban korlátozottan lehetők fel kutatási eredmények vagy tanulmányok. A korreláció analízis eredménye azt mutatja, hogy a fehérje jelenléte jelentősen hozzájárul a főtt burgonya szerkezeti stabilitásához fagyasztva szárított állapotban, míg a keményítő és a redukáló cukroknak nincs releváns kapcsolata e tekintetben. A szerkezeti stabilitási vizsgálat eredményeinek összehasonlításakor a mikroszkópos felvételek alapján a gyengébb teljesítményű fajták, mint a "Balatoni rózsza", a "Basa" és a "Hópehely" töredezett, mélyen nyitott, nagy szemű, lisztes szerkezetűek. Ezzel szemben a jól teljesítő fajták, mint a "Balatoni sárga" és a "Somogyi kifli" összefüggő, repedésmentes, viaszos szerkezetűek. Megfigyeléseim és eredményeim összhangban vannak Martens és Thybo által közölt eredményeikkel (Martens és Thybo 2000).

A burgonya tápanyagtartalmának, a színmérésének és a szerkezeti stabilitásvizsgálat eredményeit összesítve főkomponens elemzést végeztem azon változók megállapítása érdekében, amelyekkel kiválasztható a főtt állapotban fagyasztva szárítás technológiával történő tartósításra alkalmas fajták meghatározása. A kiválasztott változók a tápanyagtartalom, a nyers és a főtt állapotban a világosság és a szín értékek. Ezek a változók lesznek a komponensek, amik még az eljárás alkalmazása előtt egyszerűen mérhetőek, így használatukkal megkönnyíthető az alkalmas fajta kiválasztás. Az eredmények az alábbiak.



**7. ábra** Fagyasztva szárított főtt burgonya főkomponens elemzésének eredményei

A főkomponens elemzés eredménye alapján megállapítható, hogy a magas szárazanyagra vonatkoztatott fehérjetartalom túl a nyers és főtt állapotban levő burgonya színmérési eredményi felhasználhatóak a megfelelő burgonya fajta tulajdonságainak meghatározásához. Eredményeim szerint a megfelelő magas szerkezeti stabilitással rendelkező burgonya fajta magas fehérjetartalommal, alacsonyabb L\* és magasabb b\* értékkel rendelkezik.

Az eredményeket értékelve megállapítható, hogy az élelmiszerek tápanyagtartalma és a fizikai jellemzői közt kapcsolat van, ami hatással a fagyasztva szárított élelmiszer minőségére.

### 3.7. Rehidratációképesség vizsgálat

A rehidratációhoz szükséges víz mennyiségének meghatározása elengedhetetlen a megfelelő rehidratáció lejátszódásához. A bevezető részben említést tettem, a megfelelő rehidratáció fontosságáról, és hogy az amerikai hadsereg milyen problémákkal találkozott, ami a nem megfelelő rehidratációhoz köthető. Meglátásom szerint a technológiai gyakorlati alkalmazhatósága (pl.: katonai élelmiszer csomagok) szempontjából ez a legkritikusabb és legfontosabb fázis, ami vizsgálataim alapján összetett és több tényező befolyásolja. Ahhoz, hogy meglehessen határozni, a rehidratációhoz szükséges víz mennyiségét, azt kell meghatározni, hogy mennyi vizet veszített a termék a fagyasztva szárítás során. Az eltávozott nedvesség alapján határoztam meg a rehidratációhoz szükséges víz mennyiségét. A gyakorlati felhasználás

szempontjából a húsféléket 70% tésztafélék 80% burgonya 80% szósok 80% smoothie 90% nedvességtartalommal számoltam és ez alapján határoztam meg a rehidratációhoz szükséges víz mennyiségét.

Rehidratáció során a Balatoni rózsa, a Démon, a Basa szerkezetén nagy repedések láthatók és a szerkezete teljesen szétesett, míg az Arany chipke, Balatoni sárga és a Somogyi kifli megtartotta eredeti jellegét. A Somogyi kifli felületén látható repedések a felülettől kb. 1 mm mélyen megálltak és a szerkezete stabil maradt.

Különböző hőmérsékleten rehidratált burgonyamintákon öt katona bevonásával érzékszervi vizsgálatot végeztem. A vizsgálat során csak a szájban kialakuló érzetre kellett figyelemmel lenni, hogy mennyire hasonlított a termék állománya az eredeti főtt burgonya konzisztenciájához. Az értékeléshez 0-10 ig terjedő pontrendszert alkalmaztam, 0 jelöli a legkevésbé, 10 a legjobbat jelöli. Az ízlelés rehidratáció során 2, 4, 6, 8 és a 10 percben történt. A konzisztencia vizsgálat eredményeként megállapítható, hogy a legstabilabban és legjobban a vizsgált körülmények közt a Somogyi kifli és a Balatoni sárga fajták teljesítették. A tápanyagvizsgálatok során ezen fajtáknak volt a legmagasabb a szárazanyagra számolt fehérje mennyisége (Balatoni sárga 12,36 m/m%, Somogyi kifli 13,44 m/m%).

A főtt burgonya rehidratációs vizsgálatának a tapasztalatait összevetve a 2. táblázat eredményét érdekes tény, hogy a legkisebb és a legnagyobb keményítőszemcse méretével rendelkező fajták bizonyultak előnyösnek. Az eredmények alapján megállapítható, hogy főtt burgonya esetében a fagyasztva szárított állapotban levő keményítőszemcse méretének nincs hatása a rehidratáció lezajlására, a szerkezeti stabilitásra és a minőségi jellemzőkre.

A fentiek alapján speciális egyensúlyt kell kialakítani a kapillárisokon keresztül, hogy a rehidratáló folyadék megfelelő sebességgel áramoljon a termék belseje felé azonban a kapillárisok ne legyenek elzáródva a külső rétegek telítettsége miatt. Ezeket figyelembe véve megbecsülhető, hogy a vízfürdő hőmérsékletének a liofilizált szilárd anyagok üvegátmeneti hőmérséklete fölé emelése hirtelen szerkezeti összeomlást idézhet elő, ami a termék porozitásának csökkenését eredményezheti. Ez nemcsak alacsonyabb vízfelvételt eredményez magasabb hőmérsékleten, hanem csökkenti a rehidratációs sebességet és a tömegátadás szabályozását a kapillárisról a diffúzióra helyezheti át. A hőmérséklet különböző szinteken történő növelése az üvegátmenet hőmérséklet felett

további különböző fokú összeomlást idézhet elő. A 40°C-on végzett vizsgálatok eredményei alapján ez a hőmérséklet a sertéskaraj üvegátmenete alatt van, ami elegendő az egyenletes rehidratációhoz, és elegendő hidratáló folyadék entalpia a rehidratáció végbemeneteléhez.

### 3.8. Csapatpróba

2022 május hónapban Táborfalván a Magyar Honvédség gyakorlóterén a Modernizációs Intézet személyi állományából 30 fő honvéd bevonásával végeztem érzékszervi és alkalmazhatóság vizsgálatot tábori körülmények közt. A tesztelt élelmiszer a lecsós sertéskaraj burgonyapürével volt. A katonák kaptak egy kérdőívet nyomtatvány formájában, amelyen 0-10-ig terjedő pontrendszer alapján pontozni kellett az ételt. Az eredmények az alábbiak:

- Étél színe: 8,9
- Étél állaga: 8,6
- Étél összbenyomása: 7,4
- Alkalmassága a katonai étellezésre: 8,3
- Rehidratációs idő hossza: 8,8
- Rehidratációhoz szükséges hőmérséklet: 8,9
- Szívesen fogyasztaná-e: 7,2
- Mennyire hasonlít egy frissen elkészült ételhez: 7,6
- **Átlagos pontszám: 8,2**

A csapatpróbának komplex összetett eredménye van, mert a terméket felhasználó és elfogyasztó katona véleménye döntő fontosságú. Az értékelés során kapott 8,2 átlagos pont egy felső kvartilisbe eső eredmény, ami mindenképpen pozitív értékelés megerősítette, hogy a fagyasztva szárított élelmiszereknek van legitimitása a katonai ellátás során biztosított élelmiszerek közt. A vizsgálat eredményei stabil alapot biztosítanak a további fejlesztések és kutatások elvégzéséhez.

#### 4. Hipotézisvizsgálat

A kutatásom kezdetén felállított célok elérése és a feltett kérdések megválaszolása érdekében megfogalmazott hipotézisek elfogadására a több alkalmazott módszer és vizsgálat miatt az igazolás összetett, és komplexitást igényel, ezért a hipotézisek elfogadása vagy cáfolása hipotézisek szerint az ebben a fejezetben kerülnek bemutatásra.

**H1: *A nemzetközi és hazai tápanyag adatbázisban közölt adatok nem különböznek szignifikánsan a kereskedelmi forgalomból származó alapanyag táp- és elem tartalmától.***

Az 1-es hipotézis vizsgálata során azt szerettem volna megvizsgálni, hogy a rendelkezésre álló tápanyag adatok alapján megvalósítható-e egy, a honvédek részére speciálisan kidolgozott makro- és mikrotápanyagokat tartalmazó étrend kidolgozása. Az általam vizsgált közepes szemű barna lencsék táp- és elem tartalma legtöbb esetben szignifikánsan különbözött a világ vezető szervezetei és a hazai tápanyagtáblázatok közölt adatokkal. **Méréseim alapján a 1.-es számú hipotézist nem fogadtam el, ami alapján megállapítható, hogy a nemzetközi és hazai tápanyag adatbázisban közölt adatok szignifikánsan különböznek a kereskedelmi forgalomból származó alapanyag táp- és elem tartalmától.**

**H2: *A fagyasztva szárítás technológia alkalmazásával megteremthető az elkészült készétel mikrobiológiai, kémiai és fizikai stabilitása.***

Az 2-es hipotézis vizsgálata során az élelmiszerre, mint komplex rendszerre tekintettem mely stabilitására a szakirodalom alapján a vízaktivitás van a legnagyobb hatással. Megfelelő vízaktivitással elérhető a mikrobiológiai és enzimikus stabilitás, de ugyan akkor a zsírok avasodása intenzív válik ezért vizsgálataimat kiegészítettem savszám és peroxidszám mérésekkel. Az eredmények alapján megteremthető a kellően alacsony vízaktivitás és mikrobiológiai stabilitás, de ugyan akkor intenzívvé válik a zsírok és fehérjék avasodása, amely elengedhetlenné teszi az antioxidánsok és a megfelelő csomagolástechnika alkalmazását. Fontos megemlíteni, hogy az alacsony vízaktivitás önmagában nem sterilizál, hanem gátolja a mikrobák élettevékenységét, tehát a hőkezelés során kialakított vagy az eredeti élelmiszer mikrobiológiai állapota kulcskérdés a későbbiek során, tehát fogyasztáskor. **Az autooxidáció figyelembevételével és kiegészítésével fogadtam el a hipotézisem tehát a fagyasztva szárítás technológia**

**alkalmazásával megteremthető az elkészült készétel mikrobiológiai, kémiai és fizikai stabilitása antioxidánsok és a megfelelő csomagolótechnológia alkalmazásával.**

**H3: *Az élelmiszerek tápanyagtartalma és fizikai jellemzőik nincsenek hatással a fagyasztva szárított élelmiszer minőségére.***

Az 3-as hipotézis vizsgálata során azt vizsgáltam meg, hogy van-e összefüggés, illetve kapcsolat a rendelkezésre álló adatok közt, milyen egyedi jellemzőkkel rendelkező termék lesz alkalmas a katonai logisztikai igények kielégítésére. A vizsgálataimat során megfigyeltem, hogy tárolás során a legnagyobb változás a főtt fagyasztva szárított burgonyán történik ezért választottam a hipotézis elfogadására vagy elutasítására ezt az alapanyagot. Vizsgálataim során több korrelációt is sikerült azonosítanom és főkomponens elemzéssel is vizsgáltam az adatokat. **Az eredményeim alapján nem fogadtam el hipotézisem, ami alapján kijelenthető, hogy az élelmiszerek tápanyagtartalma és fizikai jellemzői hatással vannak a fagyasztva szárított élelmiszer minőségére.**

**H4: *Megfelelő alapanyagokkal és előkészítési módok alkalmazásával elérhető az alacsony hőmérsékleten, 50°C alatt és 10 percnél rövidebb idő alatti rehidratáció során az élelmiszer eredeti állománya, jellege.***

A 4-es hipotézis elfogadását vagy elutasítását kapcsolódó vizsgálatok kutatásom során a késztermék minősége szempontjából a legnagyobb jelentőséggel bírnak. A rehidratációhoz szükséges idő meghatározásának alapját az Amerikai Egyesült Államok haderejének igénye alapján került felállításra, ami iránymutató a NATO kompatibilitás szempontjából. Az élvezeti érték szintén rendkívül fontos jellemző, de a legfontosabb a katonai csapatpróba. A WBSF mérések eredményei alapján sikerült elérni megfelelő előkészítéssel az alacsony hőmérsékletű rehidratáció során az eredeti élelmiszer állományát, illetve sikerült olyan burgonyafajták meghatározása, amely az érzékszervi vizsgálatok során kedvező tulajdonságokkal rendelkeztek. A csapatpróba során kapott felső kvartilis feletti eredményt pozitívnak értékelem. **Az eredményeim alapján elfogadtam hipotézisem miszerint megfelelő alapanyagokkal és előkészítési módok alkalmazásával elérhető az alacsony hőmérsékleten, 50°C alatt és 10 percnél rövidebb idő alatti rehidratáció során az élelmiszer eredeti állománya, jellege.**

## 5. Az értekezés új tudományos eredményei

1. A napjainkban termesztett és a kereskedelmi forgalomban jelenlevő lencse táp- és elemtartalma szignifikánsan, a különbség értékét és méretét tekintve pozitív irányba, a Ca, a Mg és a Fe esetében közel kétszeres mennyiségben változott az iránymutató és használatos tápanyag adatbázisokban megjelenő és az adatsorok alapját képező lencse táp- és elemtartalmához képest.
2. Fagyasztva szárított főtt sertéskaraj 40°C-on történő rehidratációja során erős függő ( $R^2=0,976$ ) kapcsolat van a rehidratációhoz szükséges idő és a nyírásához szükséges maximális erő közt.
3. Statisztikai értelemben jelentős [ $r= \pm (0,9-1,0)$ ] és erős [ $r= \pm (0,7-0,9)$ ] kapcsolat van a fagyasztva szárítás technológia alkalmazása során a különböző technológiai állapotban levő burgonya színét meghatározó paraméterek és azok változásainak nagysága és a szárazanyagra számolt fehérje, keményítő és redukáló cukor tartalma közt. A burgonya keményítőszemcséjének fagyasztva szárított állapotban készített 2D vetületi területének a nagysága és a nyers állapotban levő burgonya szárazanyag mennyisége közt markáns ( $r= -0,895$ ) kapcsolat van.
4. A burgonya szárazanyag mennyiségére számolt fehérje tartalom közt és a fagyasztva szárított főtt burgonya szerkezeti stabilitása közt statisztikailag markáns ( $r=-0,8276$ ) kapcsolat van.
5. Módszertani eredmények közül az AMSA által a WBSF mérésekre ajánlott hús mérete sikeresen alkalmazható fagyasztva szárított hústermékek előállítására, és az általam kidolgozott szerkezeti stabilitás vizsgálat módszere eredményesen alkalmazható fagyasztva szárított főtt burgonyák vizsgálatára során.
6. A csapatpróba eredményei alapján a fagyasztva szárított készételek összetevőit, alapanyagait és jellemzőit, elsődlegesen a megfelelő rehidratációra kell méretezni és tervezni.

## 6. Eredmények gyakorlati hasznosíthatósága

1. A fagyasztva szárított készételek teljesítik a katonai felhasználás követelményeit. Az általam javasolt megfelelően megválasztott alapanyagokkal és előkészítési módok alkalmazásával a vizsgált élelmiszerek esetében elkerülhető az USA hadserege által tapasztalt rehidratációs problémák a vizsgált élelmiszerek esetében. Tekintettel a fajlagosan magasabb előállítási költségekre a technológia alkalmazása az ellátás szempontjából nehezebben elérhető, különleges katonai műveletekbe résztvevők ellátására alkalmas.
2. A csapatpróba során a résztvevő személyi állomány pozitívan értékelte a fagyasztva szárítva előállított készételt. A csapatpróba eredményeit összefoglalva a fagyasztva szárítás technológia alkalmazásával előállított élelmiszerek alkalmasak katonai ellátás biztosítására.
3. Megfelelően megválasztott alapanyagokkal és előkészítési mód alkalmazásával az élelmiszer jellegének megfelelő méretűek lesznek a fagyasztva szárított ételt alkotó falatok, ami nagymértékben hozzájárul az élelmiszer élvezeti értékének növeléséhez a rágás érzete által, így növelve a fagyasztva szárított élelmiszer minőségét.
4. A nyersanyagok mért és az adatbázisokban fellelhető táp- és elemtartalom mennyiségi különbségek miatt ajánlott az élelmiszer alapanyag beszerzési eljárásokat céltudatosan végrehajtani, a követelményeket kiegészíteni a tápanyag mennyiségi követelményekkel. A tervezés érdekében ajánlott saját analitikai méréseket végezni pl. a speciális beosztást betöltők, a forgó és merevszárnyú pilóták vagy a különleges katonai műveletekben résztvevők ellátásának tervezéses során.
5. Az általam javasolt alapanyagok és előkészítési módok alkalmazásával a készétel rehidratációja 40°C rehidratáló víz alkalmazásával 10 percen belül a fogyasztás számára megfelelő mértékben megvalósul, ezáltal időt és energiát lehet megtakarítani.
6. A burgonyavizsgálatok során született eredmények hasznos információkat szolgáltatnak a növénynevelők számára, ami által megvalósítható a mezőgazdasági céltermelés a fagyasztva szárításra alkalmas burgonyafajták meghatározására és nemesítésére. A vizsgált fajták közül a Somogyi kifli bizonyult a legalkalmasabbnak a főtt állapotban történő fagyasztva szárításra.

## 7. Irodalomjegyzék

1. 2R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2022.
2. AMSA.: 2015. Research guidelines for cookery, sensory evaluation, and instrumental tenderness measurements of meat. American Meat Science Association.
3. Bird, K.: 1963. Freeze-Dried Foods: Palatability Tests. Washington, DC, USA: U.S. Dept. Of Agriculture, Economic Research Service, Marketing Economics Division.
4. Di Bernardini, R. – Harnedy, P. – Bolton, D. – Kerry, J. – O’Neill, E. – Maria Mullen, A. – Hayes, M.: 2011. Antioxidant and antimicrobial peptidic hydrolysates from muscle protein sources and by-products. *Food Chemistry*. 124. 4: 1296-1307.
5. DLA.: 2020. The Nation's Combat Logistics Support Agency, USA. Forrás: <https://www.dla.mil/Portals/104/Documents/TroopSupport/Subsistence/Rations/pdrs/misc/dehybib/b053b.pdf>
6. Kanner, J. – Karel, M.: 1976. Changes in lysozyme due to reactions with peroxidizing methyl linoleate in a dehydrated model system. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 24. 3: 468-472.
7. Laakkonen, T. O.: 1973. Factors affecting tenderness during heating of meat. *Advances in food research*. 20: 257-323.
8. Magyar Közlöny.: (2001/7). A Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Miniszter 45/2001. (VI. 25.) FVM rendelete.
9. Martens, H. J. – Thybo, A. K.: 2000. An integrated microstructural, sensory and instrumental approach to describe potato texture. *LWT-Food Science and Technology*. 33. 7: 471-482.
10. Moody, S. M.: 2019. Feeding the US Military: The Development of Military Rations. In H. Meiselman, Handbook of Eating and Drinking. 1–14. Springer, Cham.
11. Pieniazek, F. – Messina, V.: 2017. Texture and color analysis of freeze-dried potato cv. Spunta using instrumental and image analysis techniques. *International Journal of Food Properties*. 20. 6: 1422-1431.
12. Rahman, M. S. – Salman, Z. – Kadim, I. T. – Mothershaw, A. – Al-Riziqi, M. H. – Guizani, N. – Mahgoub, O. – Ali, A.: 2005. Microbial and physico-chemical characteristics of dried meat processed by different methods. *International Journal of Food Engineering*. 1. 2.
13. Ratti, C.: 2013. Freeze drying for food powder productio. In B. B. Bhandari, Handbook of Food Powders old.: 57-84. Oxford, UK: Woodhead Publishing Witney.
14. Rodler, I.: 2005. Új tápanyagtáblázat. Budapest: Medicina Könyvkiadó Rt.
15. Troller, J. A.: 1989. Water activity and food quality. Water and Food Quality.
16. Walter, H.: 1931. Die Hydratur der Pflanze. Jena: Gustav Fischer.
17. XLSTAT Addinsoft (2020) XLSTAT Statistical and Data Analysis Solution. New York. <https://www.xlstat.com>
18. Aksoy, A. – Karasu, S. – Akcicek, A. – Kayacan, S.: 2019. Effects of different drying methods on drying kinetics, microstructure, color, and the rehydration ratio of minced meat. *Foods*. 8. 6: 216.
19. Mokrzycki, W. S. – Tatol, M.: 2011. Colour difference  $\Delta E$ -A survey. *Mach. Graph. Vis.* 20. 4: 383-411

## 8. A jelöltnek az értekezés témájában született publikációi



**DEBRECENI  
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM  
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR**  
H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, Pf.: 400  
Tel.: 52/410-443, e-mail: publikaciok@lib.unideb.hu

Nyilvántartási szám: DEENK/157/2024.PL  
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Répás Zoltán  
Doktori Iskola: Táplálkozás- és Élelmiszertudományi Doktori Iskola. Élelmiszertudományi doktori program  
MTMT azonosító: 10089021

### A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

#### Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

1. **Répás, Z.**, Bakos, C. A., Hajdú, F., Buzás, B. O., Györi, Z.: A Magyar Honvédség élelmezésellátásának modernizációs lehetőségei.  
*Honvédségi Szemle. 151 (5)*, 103-114, 2023. ISSN: 2732-3226.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.35926/HSZ.2023.5.8>
2. **Répás, Z.**, Györi, Z.: Különböző országokból származó termékek tápanyagtartalmának meghatározása.  
*Élelmiszervizsgalati Közlemények. 68 (1)*, 3746-3762, 2022. ISSN: 0422-9576.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.52091/EVIK-2022/1-3-HUN>

#### Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

3. **Répás, Z.**, Györi, Z.: Comparison of the nutrient content of commercially purchased medium seed brown lentils with the world's leading database.  
*Eur. Food Res. Technol. 250*, 1031-1042, 2024. ISSN: 1438-2377.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00217-023-04442-3>  
IF: 3.3 (2022)
4. **Répás, Z.**, Prokisch, J., Györi, Z., Sipos, P.: The Relationship between Rehydration Time and Tenderness at Different Rehydrating Water Temperatures in Freeze-Dried Pork Loin.  
*Processes. 11 (10)*, 1-11, 2023. EISSN: 2227-9717.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/pr11102822>  
IF: 3.5 (2022)

#### Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (2)

5. **Répás, Z.**, Györi, Z.: Különböző országokból származó termények magnéziumtartalmának meghatározása.  
In: 17. Magyar Magnézium Szimpózium =17th Hungarian Magnesium Symposium, Debreceni Egyetem DE Mezőgazdaság- Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Debrecen, 47, 2021.





6. **Répás, Z.**, Győri, Z.: Különböző országokból származó termények tápanyagtartalmának meghatározása.  
In: XIII. Hungalimentaria konferencia 2021, WESSLING Hungary Kft., Budapest, 68-69, 2021.

### További közlemények

#### Magyar nyelvű könyvrészletek (1)

7. **Répás, Z.**: Az extrudált polisztirol alapú csomagolóanyagok élelmiszerbiztonsági kockázatának elemzése.  
In: Minőségvizsgálattól az élelmiszerbiztonságig. Szerk.: Máthé Endre, Sipos Péter, Szepesi Judit, Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Debrecen, 201-209, 2023. ISBN: 9789634905257

#### Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (3)

8. Boros, L. G., Seneff, S., Lech, J. C., Túri, M., **Répás, Z.**: Summiting Mount Everest in deuterium depleting nutritional ketosis without supplemental oxygen.  
*Med. Hypotheses*. 185, 1-5, 2024. ISSN: 0306-9877.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mehy.2024.111290>  
IF: 4.7 (2022)
9. Szűts, V., Kelemen-Valkony, I., Ötvös, F., **Répás, Z.**, Kovács, A., Tóth, L., Kiss, A. A., Lőrincz, Á., Szabó, B. P., Gajdán, K., Kertai, Z., Houshmand, N., Szűts, M., Obistoiu, D., Velcirov, A. B., Halasy, K., Deim, Z., Deák, D., Gál, J., Csanádi, J., Domonkos, I.: Life style and structure differences between species of freshwater fish.  
*Med. Int. Rev.* 30 (2(119)), 98-106, 2022. ISSN: 0465-5435.
10. Lech, J. C., Dorfsman, S. I., **Répás, Z.**, Krüger, T. P. J., Gyalai, I. M., Boros, L. G.: What to feed or what not to feed-that is still the question.  
*Metabolomics*. 17 (102), 1-6, 2021. ISSN: 1573-3882.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11306-021-01855-7>  
IF: 4.747





Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (1)

11. **Répas, Z.**, Györi, Z., Boros, L. G.: A deutérium tartalom jelentősége a táplálkozásban.  
In: Magyar Táplálkozástudományi Társaság XLV. Vándorgyűlése : Programfüzet és  
Összefoglalók. Szerk.: Biró Lajos, Gelensér Éva, Lugasi Andrea, Rurik Imre, Magyar  
Táplálkozástudományi Társaság, Budapest, 48, 2022. ISBN: 9786155606120

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 16,247**

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre):  
6,8**

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2024.04.23.

