

DEBRECENI EGYETEM

TÁPLÁLKOZÁS- ÉS ÉLELMISZERTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

*Doktori Iskola vezető:*

**Dr. Szilvássy Zoltán**

egyetemi tanár, az MTA doktora

*Témavezető:*

**Dr. Győri Zoltán**

egyetemi tanár, az MTA doktora

**KÜLÖNBÖZŐ ÉLELMISZERTARTÓSÍTÁSI ELJÁRÁSOK  
ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI TARTÓS ÉLELMISZEREK  
ELŐÁLLÍTÁSÁBAN**

*Készítette:*

**Répás Zoltán**

doktorjelölt

**Debrecen**

**2024**

KÜLÖNBÖZŐ ÉLELMISZERTARTÓSÍTÁSI ELJÁRÁSOK ALKALMAZÁSÁNAK  
LEHETŐSÉGEI TARTÓS ÉLELMISZEREK ELŐÁLLÍTÁSÁBAN

Értekezés a doktori (PhD) fokozat megszerzése érdekében  
az élelmiszertudományok tudományágban

Írta: Répás Zoltán okleveles élelmiszermérnök

Készült a Debreceni Egyetem Táplálkozás- és Élelmiszertudományi Doktori Iskolája  
(Élelmiszertudományi programja) keretében

Témavezető: Dr. Győri Zoltán D.Sc. egyetemi tanár

Az értekezés bírálói:

Fokozat:

Aláírás:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

A bírálóbizottság:

elnök:

Fokozat:

Aláírás:

.....

.....

.....

tagok:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Az értekezés védésének időpontja: 20... . . . . .

## TARTALOMJEGYZÉK:

1. BEVEZETÉS .....	7
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS .....	12
2.1. Tápanyagok.....	12
2.2. Víz.....	19
2.3. Vízkaktivitás .....	20
2.4. Élelmiszertartósítás .....	21
2.5. Fagyasztva szárítás .....	23
2.6. Fagyasztva szárítás hatására bekövetkező változások .....	31
3. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK .....	35
3.1. Anyagok.....	35
3.1.1. Növényi eredetű nyersanyagok, élelmiszerek .....	35
3.1.2. Állati eredetű nyersanyagok, élelmiszerek .....	37
3.2. Módszerek.....	41
3.2.1. Analitikai vizsgálatok .....	41
3.2.2. Digitális képelemzés .....	42
3.2.3. Vízkaktivitás mérés.....	42
3.2.4. Szín mérés.....	43
3.2.5. Szerkezeti stabilitási módszer .....	44
3.2.6. Állományvizsgálat .....	44
3.2.7. Statisztikai elemzés.....	45
4. EREDMÉNYEK .....	46
4.1. Tápanyagvizsgálatok .....	47
4.1.1. Lencse .....	47
4.1.2. Burgonya.....	59
4.2. Digitális képelemzés .....	60

4.3. Vízaktivitás és oxidáció .....	70
4.4. Színmérés .....	78
4.5. Állományvizsgálat .....	80
4.6. Szerkezeti stabilitás vizsgálat .....	87
4.7. Rehidratáció vizsgálat.....	94
4.8. Csapatpróba .....	106
4.9. Elkészített rehidratált ételek fényképei.....	109
5. HIPOTÉZISVIZSGÁLAT .....	112
6. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK.....	114
7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK .....	117
8. GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK .....	118
9. ÖSSZEFOGLALÁS (magyar nyelven) .....	120
10. ÖSSZEFOGLALÁS (angol nyelven) .....	122
11. IRODALOM (felhasznált irodalom) .....	124
12. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN .....	141
13. MELLÉKLETEK.....	144
14. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS .....	145
15. NYILATKOZATOK .....	146

## RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

$\Delta$	Delta- különbség
Ar	Argon
C	Szén
Ca	Kalcium
Cl	Klór
CNF	Canadian Nutrient File (Kanadai Tápanyag Információs Gyűjtemény)
Cu	Réz
CV	Variációs koefficiens
ERP	Egyensúlyi relatív páratartalom
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations (az ENSZ Élelmezési és Mezőgazdasági Szervezet)
Fe	Vas
g	gramm
H	Hidrogén
h	Óra (idő)
I	Jód
ICP-OES	Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry (Induktív csatolású plazma atomemissziós spektrometria)
K	Kálium
K	Kelvin (hőmérséklet)
Mg	Magnézium
Mn	Mangán
mRNS	Hírvivő ribonukleinsav
Mo	Molibdén
MSZ EN ISO	Nemzetközi Szabványügyi Szervezet kiadványainak megfelelő szabványok jele
MSZ	Magyar Szabvány
n	Darabszám
N	Newton
N	Nitrogén
n.a.	Nincs adat
Na	Nátrium
NATO	North Atlantic Treaty Organization (Észak-atlanti Szerződés Szervezete)
O	Oxigén
P	Foszfor
r	Korrelációs koefficiens
s	Másodperc
Se	Szelén
ún.	Úgynevezett
USDA	United States Department of Agriculture (Amerikai Egyesült Államok Földművelésügyi Minisztériuma)

UV	Ibolyántúli sugárzás
WBSF	Warner Bratzler Shear Force (Warner-Bratzler nyíró erő)
WHO	World Health Organization (az Egyesült Nemzetek Szervezetének Egészségügyi Világszervezete)
Zn	Cink

# 1. BEVEZETÉS

Az élelmiszerek alapvetően természetes eredetűek, de a sokféle megjelenési forma, illetve az eltérő összetétele ellenére különböző tápanyagok és speciális vegyületek összességei. Megkülönböztetünk alap-, kiegészítő-, kísérő tápanyagokat és a vizet (Baltes 2013, Schormüller 1974). Ezen tápanyagok tartalma definiálható az élelmiszer fogalmaként. Fogyasztásuk történhet eredeti vagy feldolgozott formában, melynek elsődleges célja a bennük rejlő értékes tápanyagok szervezetbe juttatása, alkalmanként pedig különleges ízük miatt kerülnek az ember asztalára. Az alaptápanyagokhoz tartoznak a zsírok, a szénhidrátok és a fehérjék. A tápláléknak az energia-anyagcsere mellett bizonyos alkotókat is kell tartalmaznia, amelyek lehetnek közvetlen a test anyagcsere folyamataihoz kapcsolódó energiát szolgáló, vagy az anyagcserében döntő funkciót betöltő anyagok. Az első csoporthoz tartoznak az esszenciális aminosavak és az esszenciális zsírsavak, míg a másodikhoz a vitaminok és ásványi anyagok, a makró és mikroelemek és az élet szempontjából nélkülözhetetlen víz. Az élelmiszereket ezen összetevőik alapján különböző kategóriákba sorolhatjuk. Teljes értékű élelmiszerek, amelyek ezen komponenseket eredendően és a szükséges arányban tartalmazzák. A szükség arány és mennyiség életkori és életviteli sajátosságok figyelembevételével lehet meghatározni (WHO 1985, Rep. Health. Soc. Subj. 1991). Az élelmiszer feldolgozás természetes velejárója, hogy bizonyos alkotók lebomlást szenvedhetnek. A mai ismert egészséges táplálkozás során a növényi és állati nyersanyagok és feldolgozott termékek összeségében jelen vannak az elfogyasztott ételben és általában ezek keverékéből áll egy étkezés. Napjainkban elérhetőek az úgynevezett "biodinamikus" élelmiszerek, amelyeket minden kémiai adalékanyag nélkül, tradicionális eljárással készülnek (Brock, és mtsai. 2019). Az egészséges táplálkozás pontos meghatározásáról azonban megoszlanak a vélemények. Ennek az az oka, hogy sorra látnak napvilágot az újabb és újabb, ezzel a kérdéssel foglalkozó kutatások. A múlt évezred végén még általánosságban az állati zsiradékok fogyasztása volt megjelölve egyes kardiovaszkuláris elváltozások okaiért. Ma már tudjuk, hogy az emberi szervezet triglicerid és koleszterin szintjének alakulásában döntő jelentősége van a telített és politelítetlen zsírsavak arányának (P/T hányados, ami a különböző táplálékzsírok hatásának mérésére is szolgál).

Az omega-3 ( $\omega$ -3) zsírsav család képviselői immunmodulált és antikoaguláns hatású esszenciális zsírsavak (Calder és Grimble 2002). Az  $\omega$ -3 és omega-6 ( $\omega$ -6) aránya

a táplálkozásban óriási jelentőségű. Az  $\omega$ -3 zsírsavak arányának emelésével a jelenlegi 15-20 :1 legalább 5:1-re kellene csökkenni, mert nem megfelelő arányuk a szervezetben gyulladást indukálhat (Calder 2006), illetve fokozhatja a szabadgyökök keletkezését (Garner 1989). A komplex lipidek minden sejtben előfordulnak de ezekből a központi és perifériális idegszövetek különösen gazdagok. A lipoprotein egy komplex struktúra, amely fehérjéből (apoprotein, a foszfolipid burok külső felületére integrálva), poláris lipidből (foszfolipid burok) és trigliceridből (a burokban szállított zsír) áll, vízben oldódik és fizikai módszerekkel, mint a szedimentáció, illetve az elektroforézis nem, de alkalmas extraháló szerekkel szétbontható fehérje és lipid komponensekre. Élettani feladatuk szervezetben a nem vízzoldékony zsíradékok szállítása a vizes közegű véráram útján (Elmadfa és Leitzmann 2004, Ádám és mtsai. 2006). Napjainkban a fogyasztók körében terjed a kevésbé kiegyensúlyozott táplálkozást követő irányok, mint például a vegetáriánus. Az étrenddel kapcsolatban megállapítást nyert, hogy a vegetáriánus étrendet tartók körében alacsony B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>12</sub>, D, I, Zn, Ca, K és Se bevitel. A B<sub>12</sub>-vitamin bevitel a kizárólag növényi eredetű élelmiszereket fogyasztók körében szignifikánsan alacsonyabb (0,24–0,49  $\mu$ g) az ajánlásokkal szemben (2,4  $\mu$ g), továbbá a napi kalcium bevitel is alatta van a napi ajánlott 750 mg mennyiségnek. A vegetáriánus étrendek közt különbséget kell tenni a tejet és tojást fogyasztók és a csak a kizárólag növényi eredetű élelmiszereket fogyasztók közt. Fontos élettani különbség, hogy a tejet és tojást fogyasztók esetében nem lép fel fehérje, vas, kalcium és B<sub>12</sub> vitaminhiány, alacsonyabb az előfordulása a keringési és szívbetegségeknek és a vastagbél-daganatnak (Bakaloudi és mtsai. 2021). Nem lehet elfeledkezni arról sem, hogy bizonyos élelmiszerek mellőzése történhet vallási okokból is. Az élelmiszerek speciális csoportját alkotják a diétás élelmiszerek, amelyek bizonyos komponenst vagy komponenseket nem tartalmaznak. Ezen élelmiszerek azon fogyasztók részére készülnek, akik valamely betegségben, étel-intoleranciával vagy allergiával szenvednek. Például a cöliákiában, (glutén vagy lisztérzékenység) szenvedők nem fogyaszthatnak  $\omega$ -gliadin tartalmú búzalisztet. Részükre a búzaliszt helyettesítése szója vagy hüvelyes liszttel történik (Thomson 2001).

Az élelmiszerek összeségében nem csak kizárólag az ember tápláléka. Kiváló tápanyag forrást jelentenek és biztosítanak a mikroorganizmusok számára is. A tárolás során biológiai, fizikai és kémiai átalakulások mennek végbe, ami az étel átalakulását, összefoglalva a romlását eredményezi. Bizonyos mikroorganizmusok elszaporodása, az

általuk termelt toxinok akár halált vagy súlyos egészségkárosodást is okozhat a fogyasztó szervezetében. Az élelmiszertartósítás fő feladata ezeknek a változásoknak, az élelmiszer romlásának a különböző módon történő megakadályozása és gátlása (Bíró 2002).

Napjainkban előtérbe került a modern tudománynak a katonai területen való alkalmazása. A katonai élelmezés a fentiek komplex rendszerének speciális összessége, ahol a katonák számára elsődlegesen az elfogyasztott élelmiszereken keresztül biztosítani kell a speciális 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. Ez a tudomány szegmens egy viszonylag keveset vizsgált terület. 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 teszik 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, hogy megtartja az étel eredeti jellegét.

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 ételmezés 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.

## 2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

### 2.1. Tápanyagok

Az élelmiszerek makro- és mikronutriensek, kísérőtápanyagok és a víz komplex rendszeréből épülnek fel. Az aminosavak és az azokból felépülő peptidek és fehérjék az élelmiszerek legfontosabb alkotórészei. Berzelius-tól származó elnevezése a „protein” is arra utal, hogy elsőnek lenni (Hartley 1951). A szervezetben különböző biológiai funkciókat látnak el, mint a szerkezetkialakítás (citoszkeleton, kötő- és vázszerkezet), enzimatis katalízis, transzportfolyamatok, hormonok, neurotranszmitter, receptor, kontaktilitás, védekezés, de még mérgeként (diphtheriatoxin, Cl. botulinum toxin) is funkcionálhatnak. Méretüket tekintve általában 100-300 aminosavból épülnek fel, de nagy változékonyságot mutatnak a molekulatömegük szerint, ami általánosságban 5 és 1000 kDa közt van. Fehérje nélkül nincs élet, ezért az emberi szervezetet naponta el kell látni vele. Mivel a szervezetben állandóan regenerálódik, így a táplálék fehérje nemcsak energiahordozó, mint a zsírok és szénhidrátok, hanem szervezet alap építő köve. Átlagosan felnőtteknél minimálisan 0,8 g/kg/nap a fizikai erőnlét elősegítésére minimálisan 1 g/kg/nap a fehérje szükséglet (Wu 2016, Lonnie, és mtsai. 2018), katonák esetében elérheti a 1,5-2,0 g/kg/nap, mennyiséget (NATO 2010, 2019, Ferrando 2013, Pasiakos, és mtsai. 2015, Répás, és mtsai. 2023). A fehérje rendelkezik első-, másod-, harmad- és negyedleges szerkezettel. A fehérjék aminosavból felépülő polipeptid láncok, elsődleges szerkezetét az aminosavak kötődési sorrendje, az aminosavszekvencia adja. A fehérjelánc egyik végén az aminosavak szabad aminocsoportja (N-terminális aminosav), a másik végén levő aminosavnak pedig szabad karboxilcsoportja (C-terminális aminosav) van. Azon aminosavszekvenciákat melyek nagymértékben azonosak homológ fehérjéknek nevezzük. A másodlagos szerkezeten a polipeptidlánc tengely menti szerkezetét értjük, ami lehet  $\alpha$ -hélix vagy  $\beta$ -redőzött. Normál állapotban a legtöbb polipeptidlánc speciális konformációt mutat, ami szoros kapcsolatban van polaritással, hidrofobitással és az oldallánc (R) térbeli elhelyezkedésére. A  $\alpha$ -hélix egy zárt tömör szerkezet, mindegyik peptidkötés hidrogénkötés formátumban. Az ily módon keletkezett dipólusok orientáltsága egyirányú, ami megakadályozza a más molekulákhoz történő kapcsolódást.  $\beta$ -redőzött cikcakkos szerkezete ezzel ellentétesen lehetővé teszi, hogy a polipeptid hajlatok egymás felett képződjenek, amiket a hidrogénkötések stabilizálnak. Egy polipeptidlánc tartalmazhatja mindkét konformációt, de lehet ún. random coil

szerkezetű is, ami nem tartalmaz szabályosan ismétlődő struktúrát. A harmadlagos szerkezet a másodlagos szerkezeti egységek hidrogénkötések, elektrosztatikus és apoláros kölcsönhatások révén létrejövő háromdimenziós szerkezeti egység. A negyedleges szerkezet a fehérjék nem kovalens kapcsolatai révén jön létre. A disszulfidhidak kivételével azonos kötések stabilizálják, mint a harmadlagos szerkezetet, az alegységek jól definiálhatók. A negyedleges szerkezetre jó példa az aktomiozin, ami az izom alkotója. A miozin és aktin, mint fehérjék a miofibrillumok fő alkotói, amik további, egymástól eltérő monomerekből és egységeiből épülnek fel. A fehérjék bonyolult és igen különböző tulajdonságokkal rendelkeznek. Ez függ a molekulatömegetől, de hozzájárul, hogy a fehérje felépítésében mintegy 20 aminosav vehet részt. Táplálkozási szempontok szerint megkülönböztetünk esszenciális (emberi szervezet szintetizálni nem tudja, de a normális működéséhez elengedhetetlen) és nem esszenciális aminosavakat. Esszenciális aminosav a fenilalanin, a valin, az izoleucin, a leucin, a lizin, a metionin, a treonin, a triptofán, az arginin és a hisztidin (utóbbi kettő félig esszenciális). A fehérjék aminosav komponensei határozzák meg a fehérjék biológiai értékét, az esszenciális aminosavak minőségén kívül azok arányai is befolyással bírnak a fehérjék biológiai értékére.

A fehérjék azon túl, hogy a bioszintézishez szolgáltatják az építőköveket, az élelmiszer feldolgozása szempontjából fontos tulajdonságokat is hordoznak. Ezek az oldhatóságuk, az elektrokémiai tulajdonságaik, a molekulatömegük, a térfogatnövekedésük, a színváltozásuk, a denaturáció és a kapcsolódási tulajdonságaik, amelyeket összefoglalóan technofunkcionális tulajdonságoknak nevezünk. Ezek a fizikokémiai tulajdonságok három fő csoportba sorolhatók: a hidratációs tulajdonságok, fehérje-fehérje kapcsolódások és felületi tulajdonságok. A hidratációs tulajdonságok csoportjába tartozik a vízadszorpció, víztartó képesség, nedvesedés, duzzadás, adhéziós kapcsolódás, diszpergálhatóság, oldhatóság és viszkozitás. A fehérje-fehérje kapcsolódások közé tartoznak a gélképződés, a térszerkezet kialakulása és a szálas rendszerek létrejötte. A harmadik csoportba az emulzióképződés, a felületi feszültség és a habképző tulajdonságok. A fehérjék a hordozói a különböző gélek pl. habok, térszák, emulziók és szálas struktúrák kialakításában és stabilizálásában, így alapvetően részt vesznek az élelmiszerek fizikai tulajdonságainak kialakításában. A fehérjék direkt hordozói az élelmiszerek ízének a kialakításának. Hozzájárulnak az élelmiszer színének és az aroma anyagok kialakításához, amelyek a termék feldolgozása és tárolása során

képződnek a termikusan vagy enzimikus reakciók során. Ezek a reakciók közé tartozik a redukáló monoszacharidokkal lezajló Maillard-reakció is, amit nem enzimes barnulásnak is nevezünk. A reakció minden élelmiszerben végbemegy, ahol jelen van a redukálószacharid és szabad aminos csoport (a reakció megindulásának kedvező molaránya 3:1). Következésképpen aromakomponensek és barna színű pigmentek, melanoidinek keletkeznek, amelyek nem mindig előnyösek és a reakció közben fehérjevesztés is történik.

A szénhidrátok a szerves anyagok közül a legszélesebben elterjedt és a legnagyobb mennyiségben előfordulók közé tartoznak. A növények és az állatok anyagcsere folyamataiban központi helyet foglalnak el. A szénhidrátokat a zöld növények szintetizálják  $\text{CO}_2$ - és  $\text{H}_2\text{O}$ -ból, fényenergia felhasználásával. Szerepük nem csak az energia hordozása, lehetnek tartalékanyag (keményítő), vázanyag (cellulóz), vagy speciális biológiai funkciót betöltő vegyület (antigén). Szerkezetük alapján mono-, oligo- és poliszacharidok lehetnek. A monoszacharidok oxo csoportjának elhelyezkedése alapján lehetnek aldózok és ketózok, illetve a molekulában lévő C atomszám alapján lehetnek trióz, tetróz, pentóz, hexóz és heptóz. A szénhidrátok igen változatos formában elterjedtek és az oxo- és hidroxilcsoportok révén reakcióképes vegyületek. Oxidálódhatnak, redukálódhatnak, glikozidot képezhetnek, intramolekuláris vizet veszhetnek, karamellizálódhatnak. Mind a megjelenési formájuk, felépítésük, mind a lejátszódott reakció meghatározza az élelmiszerekben betöltött szerepüket. A poliszacharidok közül az egyik legfontosabb a keményítő, ami amilóz és amilopektinből eredetétől függően változó arányú keveréke, illetve a cellulóz. Ezek  $\alpha$ -D glükóz és  $\beta$ -D glükóz egységekből épülnek fel. A vizes szuszpenzióját  $60 \pm 10^\circ\text{C}$  körüli hőmérsékletre melegítve a rendszer duzzadni kezd és megnő a viszkozitása, ami a gyakorlatban csirizesedésnek nevezünk. A keményítő duzzadóképesége élelmiszer-technológiailag fontos képesség, amylográffal mérhető. A nagy keményítőtartalmú élelmiszerek magas víztartalmú közegben sütve vagy főzve a csirizesedés fontos folyamat, a duzzadás révén nő a térfogata pl. a tésztának vagy a rizsnek, sűrűsödik az étel pl. főzelékek vagy rántás esetén, de a kolloidális szerkezetre is hatással van pl. kenyér gyártása. A csiriz, ha kihűl retrogradálni, „öregedni” fog. Ez a tulajdonság okozza a sütőipari termékek morzsalékolódását is. A szénhidrátok továbbá lehetnek emészthetetlen ballaszt anyagok, édesítőszer, aroma és színezékek, sűrűsége befolyásoló anyagok és stabilizátorok (Gasztonyi és Lásztity 1992).

Lipidekhez tartoznak egyszerű anyagok éppúgy, mint a több építőelemből állók. Kifejezetten hidrofób karakterűek, ami meghatározza az oldékonyságot és strukturális azonosság nem ismerhető fel bennük. Analitikai ismertetőjegyük, hogy vízben nem, de szerves oldószerekben oldódnak, ezáltal könnyen elválaszthatók a fehérjéktől és a szénhidrátoktól. A lipidek egy része felületaktív anyag, mivel az építő elemek hidrofíl csoportot is tartalmaznak. Ezeket a vegyületeket, mint poláros (amfipatikus) anyagokat a neutrális lipidektől elkülönítjük. A leggyakoribb természetes zsírokat 98-99%-ban trigliceridek alkotják, amelyekben a glicerint hosszú szénláncú zsírsavakat észtereszítik. A maradék 1-2 %-ot alkotják a mono- és digliceridek, valamint a szabad zsírsavak, ide tartoznak még a foszfolipidek és az elszappanosíthatatlan komponensek, beleértve a szterineket is. A zsírsavak fő jellemzője a lánchosszúság (C atomok száma) és a telítettség foka (H-el való telítés) amelyből kifolyólag a zsírok rendelkeznek élettani hatással is. Mindkét fő jellemző analitikai módszerekkel mérhető. A testi funkciók közül kiemelkedő jelentősége van a hosszú C lánccal, többszörösen telítetlen zsírsavaknak melyek esszenciálisak embrió korban az agy fejlődésére (Innis 2008). Felnőtt korban az  $\omega$ -3 zsírsavak hiánya a látásélesség csökkenést eredményez (Campoy, és mtsai. 2012). A zsírok egyik legfontosabb funkciója és feladata, hogy kiindulási anyagai további biológiailag aktív vegyületeknek. Immunmoduláció szerepet is betöltenek. Az omega-3 zsírsavaknak két fő típusa van, az EPA (eikozapentaénsav) és a DHA (dokozaheksaénsav). Ezek a zsírsavak befolyásolják az eikozanoid hormoncsoport (prostaglandin, prostacyclin, troboxane, leukotrién) működését. Az EPA és DHA zsírsavakból képződő eikozanoidok véralvadás gátló tulajdonsággal rendelkeznek és tágítja a véredényeket. Ennek köszönhetően pozitív hatásuk lehet a szív- és érrendszeri betegségek kezelésében és a kardiovaszkuláris megbetegedések megelőzésében. Az  $\omega$ -3 zsírsavak, mint rizikó csökkentő faktorok jelennek meg (Ohnishi és Saito 2013). Az eikozanoidoknak gyulladásgátló hatásuk is van (Duvall és Levy 2016) és kedvező hatást fejthetnek ki az arterioszklerotikus (érelmeszesedéssel járó) betegségek esetében (Cottin, és mtsai. 2011) és a reumatológiai problémák kezelésében (Proudman, és mtsai. 2015). A zsírok hővédelmi funkciót is betöltenek a bőr alatt egy izolációs réteg képződésével. A bőr alatti zsíradék a D<sub>2</sub> vitamint hordozza, amely UV-fény hatására aktív vitaminná alakul (Surdu, és mtsai. 2021). Ebben a rétegben a zsírsavakból és a nagy szénatom számú alkoholból észterek képződnek pl. a koleszterin, amely hozzájárul a bőrt simává és hajlékonyá tételéhez. Ezek a koleszterin észterek a levegőből abszorbeálják a vizet, ezáltal

megakadályozzák a bőr kiszáradását (Iwai, és mtsai. 2012). A zsiradékoknak a szervezetben a mechanikai hatásokkal szemben védőfunkciója is van. Védi a belső szerveket, mint a vese, az agy és mintegy „párnát” képez mozgékony szerveknek (pl. a szemgolyónak). A lipidek a zsírdékony vitaminok és az ízanyagok hordozói. Zsiradékok szükségesek minden lipidoldékony hatóanyagok abszorpciójához. Mint az íz és aroma anyagok hordozóinak a zsíroknak kiemelkedő szerepük van az élelmiszerek érzékszervi tulajdonságaiban. A zsírok tartalékoló hatást fejtenek ki a B vitaminokra. A politelítetlen zsírsavak és a riboflavin között kapcsolatot állapítottak meg. Politelítetlen zsírsavak hiányánál a patkányok májában a D-aminosav oxidáz enzim aktivitása erősen csökken. Ez a megfigyelés a flavinnukleotidok csökkentett szintézisére vezethető vissza, amelyek a szabad riboflavin vagy a politelítetlen zsírok hidrolíziséből erednek. A zsírok megítélésé folyamatosan változik. Napjaink multidiszciplináris kutatásai kiterjednek az szénhidrátokban és zsírookban jelenlevő H atomok stabil izotóp tartalmára és azok az élő szervezetre gyakorolt hatására. A lipidek a hosszabb anyagsereút következtében deutériumban szegényebbek, mint a szénhidrátok (Schmidt 1995, Schmidt, és mtsai. 2003). A prócium és a deutérium atommag tömegkülönbségből adódó kinetikus izotóp hatások kifejeződnek a különböző biokémiai folyamatokban és szubmolekuláris szabályozási mechanizmusában (Somlyai, és mtsai. 2023, Boros, és mtsai. 2024).

Az ásványi anyagok a növényi és állati szövetek azon alkotórészei, amelyek a hamvasztás után visszamaradnak. A szervezet tömegének 0,005%-nál nagyobb mennyiségben jelenlevő anyagokat makroelemeknek, a kevesebb mennyiségben jelenlevő anyagokat mikroelemeknek és a rendkívül kis mennyiségben jelenlevő elemeket nyomelemeknek nevezzük. Makroelemek a C, H, O, N, Ca, P, mikroelemek a Ca, P, K, Cl, Na, Mg, és nyomelemek a Fe, Zn, Cu, Mn, I és a Mo. Az élő szervezetben a biológiai jelentőségük alapján megkülönböztetünk esszenciális nem esszenciális és toxikus elemeket, melyek a táplálékkal, a vízből vagy a környezeti levegőből juthatnak az emberi szervezetbe. Az esszenciális elemek a szervezetben több funkciót is betöltenek. Lehetnek elektrolitok, enzimek alkotó részei vagy testanyagok építői. A biológiai jelentőségen túl ezek az anyagok hordozói az ízeknek, aktivátorai, illetve inhibitorai az enzimkatalizált reakcióknak és egyúttal befolyásolják az élelmiszerek anyagi szerkezetét (Gasztonyi és Lásztity 1992). Az ásványi anyagok ajánlott napi bevitele függ az életkortól, a fizikai és pszichikai terheléstől, aktivitástól (De la Guardia és Garrigues 2015).

Adalékanyagok alatt értjük azokat az anyagokat, vagy keverékeket, amelyeket az élelmiszerekhez hozzáadható táplálkozás pszichológiai vagy technológiai okokból, anélkül, hogy azok az élelmiszerek fő komponensévé válnának. Leggyakrabban az adalékanyagok vagy az azokból kialakuló egységek továbbra is az élelmiszerben maradnak, néhány esetben azonban az előállítás folyamán eltávolítják. Ebbe a csoportba tartoznak a tartósítószeresek (Nemzeti Agrárgazdasági Kamara 2018).

Bizonyos élelmiszerek, illetve alkotók eredetükből és természetükből fakadóan kellemetlen tüneteket vagy akár halálos reakciót is kiválthatnak a fogyasztóból. Az orvosdiagnosztikának köszönhetően napjainkba egyre jobban ismert a táplálékintolerancia. Táplálékintolerancia alatt értünk minden olyan kellemetlen táplálékokkal összefüggő reakciót, amelyek keletkezése – az allergiával szemben – nem immunológiai folyamat a felelős. Patogenitás szempontból pszeudoallergiás reakciókat, toxikus reakciókat, anyagcsere megbetegedéseket és a bél enzimatikus zavarait lehet megkülönböztetni. Másodlagos táplálékintolerancia is felléphet, mint következmény vagy kísérő szimptóma a különböző betegségeknél, pl. emésztési elégtelenség, felszívódási elégtelenség, hasmenés, hasnyálmirigy problémák, májmebetegek vagy fehérje-energia táplálék elégtelenség. Pszichiátriai és pszichoszomatikus zavarok kiváltói lehetnek az elviselhetetlenségi szimptomáknak, ha meghatározott élelmiszert fogyaszt az arra érzékeny személy (Skypala és Venter 2009). A pszeudoallergiás reakciók klinikai szimptomái az élelmiszer allergiához nagyon hasonlóak. Ide sorolandók az asztma, a csalán vagy egyéb kiütés, nyaki ödémák és a gastro-internális zavarok. A betegség kifejlődése más, mint az allergénekénél, nincsenek antigén-antitest reakciók, illetve nincs immunológiai reakció. A szimptóma kifejlődését már az első pszeudoallergiás reakció okozza. A reakció mértéke dóziszfüggő, tehát a szimptomát kiváltó anyag koncentrációjától függ. A pszeudoallergén reakciók néhány adalékanyagra vagy a természetes élelmiszerekben előforduló farmakológiailag hatékony komponensre vonatkoznak (Ortolani és Pastorello 2006, Tuck, és mtsai. 2019).

A teljes értékű táplálkozás nem csak a bevitt tápanyagok mennyiségétől függ. Napjaink egyre szélesebb spektrumában kutatott és egyre bővebb ismeretanyagot nyújtó tudományterület a molekuláris táplálkozástudomány, ami a tápanyagok molekuláris szintű hatásait vizsgálja a biokémia, a molekuláris biológia, a genetika és a táplálkozástudomány kapcsolatrendszerének kutatásával. Alapjai a tápanyagok és gének

kölcsönhatását kutató nutrigenomika és a genetikai variációk és a tápanyagok kapcsolatát vizsgáló nutrigenetika, amelyek további területekre bonthatók (Corcuff és Merched 2016). A genom és a környezet közötti kölcsönhatás paradigmáját a gén-tápanyag kölcsönhatások jelentik. A szervezetben lejátszódó minden táplálkozási folyamat nagyszámú egy adott sejtben kifejeződő mRNS-molekulák által kódolt fehérje kölcsönhatásán alapul. Az mRNS-szintek és a megfelelő fehérjeszintek változása rendkívül fontos paraméterek egy tápanyag biokémiai úton történő áramlásának szabályozásában (Yan 2015). A nutrigenomikai kutatások egyik fontos célja a táplálkozásnak a genomra kiterjedő hatásainak vizsgálata, különös tekintettel a metabolikus stressz szerepére a metabolikus szindróma kialakulásában vagy a gyulladást, metabolikus stresszt, inzulinrezisztenciát és a cukorbetegséget kombináló fenotípusok összegyűjtése (Afman és Müller 2006). A komplexitás elengedhetetlen részét képezi az emberi mikrobiom és az ahhoz köthető bél-agy tengely, ami megfelelő mentális és pszichés egészség elengedhetetlen része (Dinan és Cryan 2017, Loh és mtsai. 2024). Az emberi testhez kapcsolódó összes sejtszám 90%-a mikrobiom eredetű és csak 10%-a emberi sejt (Savage 1977). A bélrendszerben akár 100 milliárd mikroorganizmus található (Ursel és mtsai. 2012) ami akár 5000 baktérium taxon eredetű is lehet (Dethlefsen és mtsai. 2008). A mikrobiom hozzájárul az egészséghez, az egyensúlyának a felborulása számos betegséggel pl. sclerosis multiplexel, bélgyulladással, 1-es és 2-es típusú cukorbetegséggel, allergiákkal, asztmával, autizmussal és rákkal járó megbetegedésekkel társították (Petersen és Round 2014, Lloyd-Price és mtsai. 2016). Tanulmányok kimutatták, hogy a különböző étrendekkel rövid és hosszú távon is befolyásolható a mikrobiom közösség összetétel, felépítése (Wu és mtsai 2011, Claesson és mtsai 2012). Az ember számára optimális bélflóra kialakítására és helyreállítása során az élelmi rostok fogyasztásának jelentős hatása van (Kuo 2013, Tanes és mtsai. 2021). A rendszer összetettségét jól jellemzi, hogy a pozitív változás elérhető zsírdús, ketogén diéta alkalmazása során is. A ketogén diétáról kimutatták, hogy bár csökkenti a bélben jelenlevők mikrobák diverzitását, de helyreállítja és elősegíti az olyan hasznos mikrobákat elterjedését, mint az *Akkermansia*, *Muciphilia sp.* és a *Lactobacillus*. A flóra helyreállítása javítja a kognitív működést és csökkenti a neuro-gyulladásos markereket. A *Lactobacillusok* számának növekedése és a *Desulfovibriok* számának csökkenése a belső bélkörnyezeten belüli arányának eltolódását eredményezi, aminek gyulladáscsökkentő hatása van. (Kaviyarasan és mtsai. 2022, Lim és mtsai 2022).

A megfelelő mikrobiom kialakítása katonák esetében kiemelt jelentőségű és rendkívül aktuális kérdés. Az első ezzel a témával foglalkozó konferencia Londonban, 2023 szeptember hónapban volt a 6. Nemzetközi Kongresszus a Katonák Fizikai Teljesítményéről (6th. International Congress on Soldier Physical Performance (ICSPP)) volt. A konferencián jelenleg ismert kutatások alkalmazási területei az alábbiak szerint csoportosították. A külföldi szolgálatok során jelentkező hasmenés kiküszöbölése, a bél- vagy tengelyen keresztüli stresszválasz modulálásának lehetősége és a fizikai és kognitív teljesítmény fokozása (ICSPP 2023, Templeman és mtsai. 2024).

## **2.2. Víz**

A víz az egyik legjelentősebb élelmiszer alkotó. Jelenléte meghatározza az étel állagát, színét, ízét, és szoros kapcsolatban áll az eltarthatóságával, a kémiai és mikrobiológiai stabilitásával. A kémiai átalakulások közegeként szolgál, de a hidrolízisnél, mint reakciópartner van jelen. A fehérjékkel, szénhidrátokkal, lipidekkel és sókkal létrejövő fizikai kölcsönhatásai jelentősen hozzájárulnak az élelmiszer szerkezetének kialakításához. A víz kémiai jellegét tekintve kiváló oldószer, ami tökéletessé teszi az anyagcseretermékek szállításában. Az élelmiszerekben a víz szabad és kötött formában lehet jelen. A kötött vizet lehet csoportosítani a vízkötés módja és a vízkötés energiája szerint. A kötés módja alapján megkülönböztetünk kémiaileg kötött vizet, fizikai-kémiaileg kötött vizet és mechanikailag kötött vizet. A kémiaileg kötött víz meghatározott és állandó arányban kötődik. Az ily módon létrejött kötés erős, eltávolítani csak nagyon erőteljes melegítéssel lehet. A kapcsolódás kémiai reakcióval jön létre. A fizikai-kémiaileg kötött víznek két formája van, az adszorpciós- és az ozmózisos víz. Az élelmiszerek nagy része hidrofil tulajdonságú, ami azt jelenti, hogy a vizet adszorpciós úton köti meg hidratációval. A hidratáció oka, hogy vízmolekula szerkezetéből adódóan dipólus molekula, ami által könnyen megkötődik poláros csoportokon. Ez a folyamat a hidratburok képződés. Az ily módon kötődő vizet, mechanikai úton nem, de melegítéssel vagy a környező levegő nedvességtartalmának csökkentésével eltávolítható. A hidratáció exoterm, hőfelszabadulással járó folyamat. Az ozmózisos vízkötés során a nagy molekulatömegű alkotórészek által határolt mikroüregeken belül oldat alakul ki, amelynek az ozmotikus nyomása nagyobb, mint a külső tér ozmotikus nyomása, ezáltal a folyadék beáramlik a térbe. A mechanikailag kötött víz fizikai módszerekkel pl. préseléssel eltávolítható az élelmiszerből, szerkezeti vízként, kapilláris vízként vagy

nedvesítési vízként lehet jelen. A szerkezeti vizet az élelmiszerben kialakult térhálós kolloid rendszere tartja meg és zárja magában. A kapilláris vizek lehetnek mikro vagy makro kapilláris rendszerhez kötöttek. A mikropilláris víznek a  $10^{-7}$  m-nél kisebb átmérőjű kapillárisokban jelenlevő vizet nevezzük. Az ilyen méretű kapillárisokban a vízgőz nyomása kisebb, mint a környezeti vízgőz nyomása. A  $10^{-7}$  m-nél nagyobb átmérőjű kapillárisokban a telített gőznyomás azonos a sík vízfelület feletti telített vízgőznyomással. Megkülönböztetünk még nedvesítési vizet, amely adhéziósan kötődik a felülethez. A szabadvíznek azt a vizet nevezzük, amely az oldóképességét teljes mértékben ki tudja fejteni. Tartósítása szempontjából meghatározó az élelmiszerben jelenlevő szabad víz mennyisége (Fennema 1996). A víz szükséges a sejten belül a tápanyagfelvételhez és az ozmotikus egyensúly fenntartásához, közege a különböző reakcióknak és oldószerként is funkcionál.

### 2.3. Vízáktivitás

Az élelmiszerekben jelenlevő víz és az ahhoz köthető vízáktivitás mértéke az élelmiszer tartósítás szempontjából az egyik legfontosabb mérőszám. A víz elvétele vagy megkötése pl. só vagy cukorkoncentráció növelésével sok reakció megakadályozásához vezet, illetve a mikroorganizmusok növekedésének megállításához, amik által növekvő tárolási stabilitás érhető el. A vízáaktivitást ( $a_w$ ) az oldat párányomásának és a víz párányomásának a hányadosa határozza meg, értéke 0-1 közt terjed. Értéke meghatározható az egyensúlyi relatív páratartalomról is melyet Walter dolgozott ki. Ez a hidratúra, ami alapján meghatározható a vízáaktiváshoz egyenlő vízállapotot. Értéke a vizsgálati anyaggal egyensúlyi zárt térben levő relatív gőznyomással és a páratartalommal fejezhető ki (Walter 1931):

$$a_w = \frac{P_g}{P_{gt}} = \frac{\varphi e}{100}$$

Ahol:

$P_g$  = az adott élelmiszerbe jelenlevő víz parciális nyomása adott T hőfokon

$P_{gt}$  = a víz telítési gőznyomása az adott T hőmérsékleten

$\varphi e$  = az egyensúlyi relatív páratartalom (ERP)

A vízaktivitás szorosan összefügg a mikróbák életfeltételével az enzimikus és a nem enzimikus folyamatokkal, mint a Maillard-reakció sebessége. Befolyásolja még a hőkezelések során az enzimek hőpusztulásának sebességét is. A mikroorganizmusok működéséhez 70-80%-os egyensúlyi relatív páratartalom szükséges, ekkor aktívak. Az enzimek működéséhez 50%-os, a Maillard-reakcióhoz 20-30% szabadvíztartalom szükséges. Csupán a zsiradék oxidáció megy végbe 0%-os víztartalomnál (Belitz, és mtsai. 2008).

## **2.4. Élelmiszertartósítás**

Az élelmiszertartósítás jelentőségét már az ősember is felismerte. A késői paleolit korban (i.e. 40 000) ismert volt a hússzárítás technológiája (Geist 1978). Ezen technológia ismerete a cro-magnoni ember esetében evolúciós előnyt jelentett a neandervölgyi emberrel szemben (Geist 2000). Az ősi eljárások közé tartozik a sózás, a füstölés, az aszalás, a savanyítás és az erjesztés melyek a gyakorlati tapasztalatok alapján alakultak ki az évezredek alatt. Spallanzani ismerte fel először, hogy a felforralt és légmentesen lezárt élelmiszereken nem történik romlási folyamat (Prescott 1930). Definíció alapján romlásnak nevezzük azt az élelmiszerekben történő változást, mely következtében az élelmiszer elveszíti élvezeti, érzékszervi és biológiai értékét és fogyasztásra alkalmatlanná válik. Az élelmiszertartósításnak az a célja, hogy lassítsa vagy gátolja a romlást okozó folyamatokat, megőrizze az eredeti élelmiszer élvezeti értékét, ízét, illatát, állományát, redukálja a mikroorganizmusok számát és megőrizze mikrobiológiai állapotát. Az élelmiszerek romlását okozó folyamatokat megkülönböztetjük eredet szerint, ami lehet mikrobiológiai, biokémiai, és fiziko-kémiai, vagy ezek kombinációja.

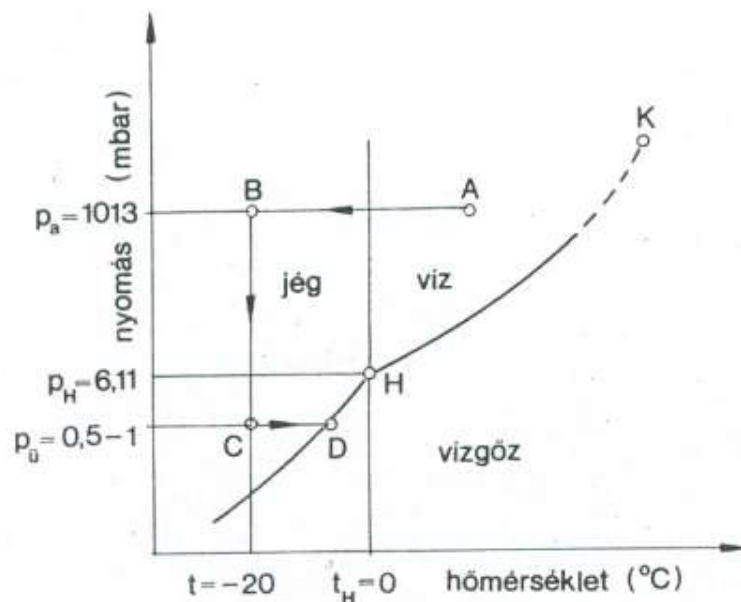
A fizikai eredetű elváltozásokat pl. a külső erő hatására fellépő sérülést vagy ütődést általában biokémiai eredetű enzimikus változások kísérik. A növényekben a betakarítás után az életfunkcióik nem szűnnek meg. Ezek a folyamatok hasznosak pl. egy érlelés során, de a tartósítás szempontjából károsnak tekintendő (Lásztity 1981). Az enzimek hőérzékeny katalitikus fehérjék, hőkezeléssel könnyen inaktiválhatók. Az élelmiszerek romlását nagyrészt biológiai folyamatok, a mikroorganizmusok okozzák. A mikroorganizmusok életfeltételét befolyásolja a közeg tápanyagtartalma, vízaktivitása, hőmérséklete, pH értéke és az oxigén jelenléte. Az élelmiszerek önmaguk jellegéből adódóan kiváló tápanyagforrások a különféle mikróbáknak. A hőmérséklet nagymértékben befolyásolja mikroorganizmusok aktivitását, mely tulajdonságot pl. a

fermentált készítmények technológiája során kiválóan alkalmazható, azonban ezek a tulajdonságok tartósítás szempontjából nem mérvadók. Élelmiszertartósítás szempontjából egyik mérvadó tulajdonság a mikroorganizmusok hőtűrése és hőpusztulása. Az élesztők vegetatív formája már 50–60°C-on 10–15 perc hőkezelés hatására elpusztulnak és a spóráik is 60–70°C-on életképtelenné válnak. A penészgombák spóráit már 60°C-on 5–10 perces nedves hőkezeléssel pusztíthatók, de bizonyos fajok spóráinak elpusztításához jóval erőteljesebb kezelés szükséges. *Byssochlamys fulva* spóráját még 120°C-on 30 perces hőkezelés hatására sem lehet elpusztítani. A leghőtűrő baktérium spóra a *Bacillus stearothermophilus*, 121°C-on a tizedelési ideje 4,0–5,0 perc. A hőkezelés történhet nedves vagy száraz hővel. A vírusok hőtűrése változó, de a normál légköri nyomáson történő 100°C-os hőkezelés inaktiválhatók. Az élelmiszerek pH értéke döntő jelentőségű a romlást okozó mikroorganizmusok életbe maradása szempontjából. A legtöbb mikroorganizmus neutrofil tulajdonságú, de penészek és élesztők acidofilek, ami azt jelenti, hogy képesek akár 2,5 pH-n is romlást okozni. A rothasztó mikrobák 11 pH környezetben még aktívak maradnak. A környezeti oxigén nagymértékben befolyásolja a mikroorganizmusok fejlődését. A mikrobák lehetnek aerob, anaerob, vagy fakultatívak, amelyek nem függenek az oxigén jelenlététől. Mint minden általunk ismert élőlénynek úgy a mikroorganizmusok életben maradásához elengedhetetlen feltétele a víz jelenléte. A mikroorganizmusok vízaktivitást tűrő képessége eltérő és fajra jellemző. Az ozmofil baktériumok 0,61–0,62  $a_w$  értéknél még aktívak maradnak. A mikrobiális tevékenység alsó határa 0,6  $a_w$ . Az enzimaktivitás szorosan összefügg a vízaktivitással. Az enzimes romlás 0,9  $a_w$  értéknél a legintenzívebb, de 0,4 alatt már nem számottevő mértékű (Szenes és Oláh 1991), kivéve a lipidoxidáció. A vízaktivitás csökkentése vizes fázisban oldott anyagok koncentrációjának növelésével vagy vízelvonással lehetséges. A vízelvonás leggyakrabban elpárologtatással történik. Hőközlést alkalmazó technológia alkalmazása során (pl. bepárlás) nagy hőenergiát kell közölni a kezelendő anyaggal, ami károsíthatja az élelmiszer alkotóit és befolyásolhatja annak élvezeti értékét. E negatív elváltozások megelőzéseként előtérbe helyeződnek a kíméletes víz eltávolító technológiák, mint a kirokoncentráció (a víz kifagyasztása és jég formában történő eltávolítása), fordított ozmózis (a víz eltávolítása félig áteresztő membránokon keresztül) és fagyasztva szárítás (liofilizálás, a víz fagyasztása majd alacsony hőmérsékleten és alacsony nyomáson történő szublimáltatása) (Rahman és Perera 2007, Ahmed, és mtsai. 2013).

## 2.5. Fagyasztva szárítás

A fagyasztva szárítás technológia alkalmazásának számos előnyös tulajdonsága van, de a legfontosabb az, hogy a víztartalom eltávolításával nagyon alacsony  $a_w$  érhető el, ami gátolja a mikroorganizmusok növekedését. A technológia előnye, hogy más tartósító eljárásokra érzékeny alapanyagokra is alkalmazható, immobilizálja az oldott anyagokat, minimalizálja a koncentrációkülönbség hatására létrejövő folyamatokat, mint pl. a fehérjék kicsapódását. A technológia alkalmazásával készült ételeknek jobb lesz az oldhatósági tulajdonsága a hagyományos szárítási technológiákkal szemben és kevésbé lesz hajlamos a deformációra. A fagyasztva szárított élelmiszerek hosszú ideig és stabilan eltartható termékek (Wolkers és Oldenhof 2021). A technológia alkalmazásának azonban vannak hátrányai is. Jelentős a fajlagos költsége, napjainkban az energiaárak gyorsan és hektikusan változnak. Nem alkalmazható, pl. olajok vagy alacsony olvadáspontú nem vízszerű anyagok eltávolítására. Nem lehet alkalmazni olyan termékek esetében, amik felülete hidrofób réteggel rendelkezik (Mackenzie 1985). A fagyasztva szárítás az élelmiszeripar egyik legfontosabb szárítási technikája, amely a 20. században gyors fejlődésen ment keresztül (Adams 2007).

A fagyasztva szárítás technológiai folyamata két fázisból áll, amelyet az 1. ábra mutat.



1. ábra Fagyasztva szárítás elve (Fábry 1997)

Az első a fagyasztás fázisa, amelynek során az oldószer jelentős részét, körülbelül 95% -át fagyasztott szilárd anyaggá alakul, ez az 1. számú ábra A – B pont közötti fázisa. A második fázis a szublimáció fázisa, amelynek során szinte az összes oldószert fagyasztva és fagyasztatlanul egyaránt- elpárolog a szárított anyagból (Tang és Pikal 2004), ez a C – D pont közötti rész. Az B – C pontok közti fázis a gyakorlatban egy időben zajlik le a fagyasztás fázisával, ahol a kamra nyomása a hármaspont határértéke (611 Pa) alá csökken.

A folyamat első fázisa a hűtéssel kezdődik, ahol a készítmény hőmérséklete csökken és addig tart míg az első jégkristály mag el nem kezd kialakulni. Azt a hőmérsékletet, ahol az első jégkristály képződik jég nukleációs hőmérsékletének nevezzük. Atmoszférikus nyomáson vizes rendszerek a gyakorlatban nem fagnak meg spontán az egyensúlyi fagyáspontjánál, inkább bizonyos mértékig megtartják a folyékony halmazállapotukat. A vizes rendszerek egyensúlyi fagyásának feltétele, hogy egy jégkristály mag kialakuljon, elérhető legyen a rendszer egyensúlyi fagyáspontján és hogy jelentős hőmérsékletkülönbségek ne legyenek a rendszeren belül. Abban az esetben mikor az egyik feltétel nem teljesül túlhűtés történik, ami energetikailag nem kedvező, de az apróbb méretű jégkristályok kialakulása szempontjából kedvező folyamat. A késztermék minőségére jelentős hatással van a termék belsejében keletkező jégkristály mérete, elhelyezkedése és állapota (Assegehegn és mtsai. 2019). A jégkristályok alakja, méretét és méreteloszlása, számos kritikus paramétert befolyásol, mint például a szárított termék ellenállása, az elsődleges és a másodlagos szárítási sebességét, a termék fajlagos felületét és a szárított termék rehidratálását (Searles 2001). Lassú fagyasztás során (0,1-1cm/h) a sejtnedv egy része az extracelluláris térbe diffundál és az ott lévő kristálygócokra fagy. Ez nagyméretű jégkristályokat, amik nagy átmérőjű pórusokat eredményeznek a szárított termékben, amely következtében alacsony lesz a tömegátadási ellenállás. A gyors fagyasztás (5-20 cm/h) során keletkező kisméretű jégkristályok viszont ezzel ellentétesen kis méretű és átmérőjű pórusokat hagynak maguk után, ami jelentősen akadályozza a vízgőz szállítását. A szárított termék tömegátadással szembeni ellenállása fordítottan arányos a fagyasztás során képződő jégkristályok méretével. A gyakorlatban a minél kisebb roncsolás érdekében a lassú és a gyors fagyasztás közti sebesség ajánlott. A keletkezett jégkristályok mérete továbbá hatással van a megmaradó

szöveti szerkezetre, a késztermék színére és a rehidratációra (Szabó 1987). A fagyasztva szárítás folyamata történhet külön fázisonként, de a gyakorlatban ez általában egy időben, folyamatos üzem közben játszódik le. A nyomáscsökkenés hatására az élelmiszerben levő víz párolgásba kezd. A párolgáshoz szükséges 2260 J/g hőenergiát (párolgási entalpiát) a termékből veszi fel, ami hőmérséklet csökkenést eredményez a termékben. A kondenzáló kamrával történő folyamatos összeköttetés eredményeként folyamatos anyagtranszport jön létre, ami következtében folyamatos lesz a termékből a víz párolgása, ami végül a termék fagyását eredményezi, abban az esetben, ha nem történt meg a termék előzetes fagyasztása.

A technológiai folyamat három szakaszra bontható: a szublimációra, az elsődleges szárításra és másodlagos szárításra. A jég szublimálásához hőenergiát kell közölnünk izobár állapot mellett, mely történhet hőszugárzással, hőátadással vagy mikrohullámú technológia alkalmazásával. A jég párolgásához a szublimációs határrétegről a paradiffúzióknak a termék felületére kell jutnia a száraz felületi zónán keresztül. Technológiai paraméterek beállítása során nagy figyelmet kell fordítani arra a tényre, hogy a szublimációs határréteg felett az el nem szállított pára nemkívánatos nyomásnövekedést okoz, ami a fagyott mag olvadásához és a porózus szerkezet összeomlásához vezethet. A határréteg feletti gőznyomásnak mindig alacsonyabbnak kell lennie, mint az adott hőmérsékletéhez tartozó, a víz szilárd jég formájában tartó nyomásnak. A szárítási sebességet viszont javítja, ha a nyomás ezen érték körül van. Ekkor nő a gőzfázis hővezető képessége, csökken a pára térfogata és nő a páraelvonás hajtóereje. Fontos a hőenergia bevitel és a folyamatsebesség közötti egyensúly. Ha a hőközlés során alkalmazott hő mennyisége nem elég magas akkor a szublimáció lassú lesz, ha túl sok a közölt hőmennyiség akkor az felhalmozódik és a termék hőmérsékletének nemkívánatos növekedését és nemkívánatos elváltozásait eredményezi (Nowak és Jakubczyk 2020).

A vízgőz diffúziójának sebessége függ a fagyasztás során kialakult szerkezettől, a kapillárisok méretétől és mennyiségétől. A folyamat matematikai jellemzését a Knudsen-szám írja le ( $Kn$ ) (Levin, és mtsai. 2022, Kast és Hohenthanner 2000):

$$Kn = \frac{\lambda}{l}$$

ahol:  $\lambda$  = a gőzmolekulák közepes szabad úthossza

$l$  = az anyagban lévő pórusok, kapillárisok jellemző geometriai mérete  
ha  $Kn > 1$  A gőzmolekulák mozgás közben jellemzően a pórusok falának ütköznek áramlás közben.

ha  $Kn < 1$  A gőzmolekulák mozgás közben jellemzően egymásnak ütköznek, hasonlóan a folyadékok áramlásakor tapasztalva. Az áramlás jellege lehet lamináris, átmeneti vagy turbulens.

A szublimáció során az anyag és a hő transzportja egyidőben megy végbe. A szárítás során a víz szilárd állapotban marad ennek következtében oldattranszport nem történik. A folyamat során a szublimációs front folyamatosan változik és az anyag belseje felé halad. A fagyott részek vastagsága állandóan csökken, ezzel fordított arányosságban változik a száraz réteg vastagsága. Az utószárítás során történik a maradék víz eltávolítása. A folyadék itt már jellemzően kötöttvíz formájában van jelen. A kötöttvíz eltávolításához a hőmérséklet emelése szükséges. Ez a gyakorlatban a vákuum csökkenése során, izoterm körülmények során jellemzően  $0^\circ\text{C}$  felett megy végbe.

Fagyasztva szárítás során az anyag és a hő transzport egy időben zajlik le. (Ertekin és Yaldiz 2004). A hőtranszport során egyszerre történik a hőelvonás, hőátadás, hősugárzás, hővezetés és hőáramlás, ami az alkalmazott technika szerint arányaiban változhat (pl. mikrohullámú technológia alkalmazása esetén), az anyagtranszport során a jég szublimálásából keletkező pára eltávozik a termékből miközben folyamatosan csökkenti a termékben jelenlevő víz mennyiségét, ez által a termék hővezető képessége is folyamatosan változik. A víz halmazállapot változásával változnak a hőtani jellemzői, a jég fajhője  $2,1 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  és a hővezetési tényezője ( $\lambda$ )  $0,6$ -ról  $2,1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ .

A szárítási folyamat matematika leírásának alapját a szárazanyagra vonatkoztatott nedvességtartalom adja:

$$M = \frac{m_t - m_s}{m_s}$$

ahol:  $M$ : nedvesség tartalom (kg víz/kg)

$m_t$ : Nedvességtartalom (kg)

$m_s$ : Szárazanyag (kg)

Nedvesség arány:

$$MR = \frac{M - Me}{M0 - Me}$$

ahol: MR a minta nedvesség rátája (dimenzió nélküli),

Me- egyensúlyi nedvességtartalom ( $\text{kg}_{\text{víz}} \cdot \text{kg}_{\text{szárazanyag}}^{-1}$ ),

M0 az anyagnyers nedvességtartalma ( $\text{kg}_{\text{víz}} \cdot \text{kg}_{\text{szárazanyag}}^{-1}$ ),

M - a minta nedvességtartalma az adott pillanatban ( $\text{kg}_{\text{víz}} \cdot \text{kg}_{\text{szárazanyag}}^{-1}$ ).

Hőtani folyamatok egyensúlyát a közölt hőmennyiségnek és a jég szublimálásához szükséges hőmennyiségnek aránya határozza meg. Ideális esetben a két folyamat egymással egyenlő.

$$Q1=Q2$$

ahol:  $Q1 = \Delta S \cdot r$

$Q1$ - a jég szublimálásához szükséges hőmennyiség ( $\text{kJ} \cdot \text{h}^{-1}$ )

$\Delta S$ - óránként eltávozó vízmennyiség ( $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$ )

$r$  – jég párolgás hője ( $2830 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

$Q2 = k \cdot A (t_h - t_f + t_f - t_{sz})$

$Q2 = A$  főtáblákkal közölt hőmennyiség ( $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$ )

$A =$  Hőközlő felület ( $\text{m}^2$ )

$t_h =$  hőközlő felület hőmérséklete ( $^{\circ}\text{C}$ )

$t_f =$  Fagyasztva szárított anyag felületének hőmérséklete ( $^{\circ}\text{C}$ )

$t_{sz} =$  a fagyasztva szárítás szintjének hőmérséklete ( $^{\circ}\text{C}$ )

A hőátadás sebessége a jégréteg vastagságától és a hővezetési tulajdonságtól függ. Ahogy a szárítás előrehalad, a jég vastagsága csökken, és a hőátadás sebessége nő. A fűtőfelület hőmérsékletét szabályozni, csökkenteni kell, hogy elkerüljük a jég megolvadását.

A fagyasztva szárítás kinetikai leírására több modell került kidolgozásra. A modellek további empirikus módszereken alapulva egészülnek ki alapanyag, méret és egyéb

jellemzők függvényébe (Inyang és mtsai. 2018). A leggyakrabban alkalmazott kinetikai modellek a Newton, a Page, a logaritmikus és a Henderson-Pabis modell.

A Newton modell, exponenciális csökkenésként írja le a termék nedvességének arányát:

$$MR = \exp(-k \cdot t)$$

k: Szárítási sebesség állandó ( $m^{-1}$ ) (szárítási állandó a szárítási körülményektől, a hőmérséklettől, a levegő sebességétől, a páratartalomtól és a szárítási módtól függ)

t: szárítási idő (s)

Page:

$$MR = \exp(-k \cdot t^n)$$

n: empirikus konstans, függ az anyag és a szárítási körülményeitől.

Henderson és Pabis:

$$MR = a \cdot \exp(-k \cdot t)$$

a: empirikus konstans, függ az anyag és a szárítási körülményeitől.

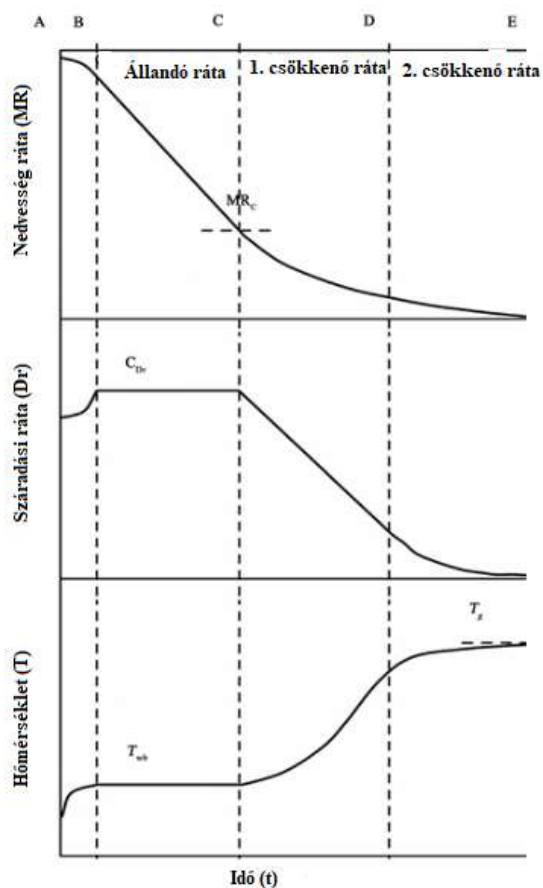
Logaritmikus:

$$MR = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$$

c: empirikus konstans, függ az anyag és a szárítási körülményeitől.

A nedvességi ráta, a száradási sebesség, a hőmérséklet és az idő kapcsolatát 2. ábra szemlélteti.

A 2. ábrán az A és B szakasz közt a száradás sebessége növekszik amíg a termék felülete el nem éri az egyensúlyi állapotot (B – C) mert a kezdeti száradási időszakban az egyensúlyi levegő hőmérséklete magasabb, mint a termék hőmérséklete. A B – C szakasz egy állandó sebességű szakasz, amely hasonlít a légköri nyomáson történő víz párolgásához. A szakaszt az egyensúlyban levő hő- és tömegtranszport folyamata szabályozza.



2. ábra A nedvességi ráta, a száradási ráta és a hőmérséklet kapcsolata  
(Onwude és mtsai. 2016)

Az állandó sebességű időszak alatt a termék fizikai formája, különösen a felülete, érintett. Ezt a szakaszt nagyrészt kapilláris és gravitációs erők irányítják. A szárítási folyamat feltételei, mint a hőmérséklet, a szárító levegő sebessége és a relatív páratartalom szintén befolyásolják a terméket ebben a szakaszban. Az első csökkenő sebességű időszak (C – D) akkor kezdődik, amikor a termék felületi filmje száraz, és a nedvességtartalom lecsökken a kritikus nedvességtartalom szintjére. Ahogy a szárítás folytatódik, az anyag átmegy az első csökkenő sebességű időszakból a második csökkenő sebességű időszakra (D – E).

A modellek alkalmazására elfogadás szüksége melyre a gyakorlatban alkalmazott több módszer közül a legelterjedtebb a korrelációs koefficiens ( $R^2$ ) és a relatív átlagos négyzethiba (RMSE) módszerének alkalmazása, ha  $R^2$  0,95 feletti és az RMSE közelít a nullához, akkor a szárítási folyamatot leíró görbére elég pontos lesz a modell illeszkedése.

A fagyasztva szárított élelmiszerek jobban megőrzi a tápértéküket, mint a legtöbb más tartósítási módszerrel készített étel. Megtartják az eredeti ízüket, színüket, a legtöbb vitamint és ásványi anyagot. A víz szublimációja erősen porózus szerkezet kialakulását eredményezi, ami azonnali rehidratációt tesz lehetővé (Jia és mtsai. 2019). A rehidratált, fogyasztásra kész étel visszanyeri az eredeti termék tulajdonságait, de ez termékspecifikus tulajdonság. A feldolgozás minőségváltozást eredményez mind a termikusan mind a liofilizálva tartósított élelmiszereken. Az élelmiszermínőséget három fő tulajdonság határozza meg, ezek a táplálkozási, fizikai és kémiai tulajdonságok (Meda és Ratti 2005). Általánosságban elmondható, hogy a szárítási folyamat befolyásolhatja a színt, az illatot, a dehidratációs tulajdonságokat, az áramlási tulajdonságokat, a vízáktivítást, valamint a tápanyagok és az illékony vegyületek visszatartását (Sablani 2006). A fagyasztva szárított termékek esetében a legjelentősebb károsítást az oxidáció okozza. A növényi nyersanyagok érzékenyek az enzimikus lebomlásra a jelen lévő polifenol-oxidáz aktivitása miatt (Mayer és Harel 1979). A karotinok többszörösen telítetlen vegyületek, így erősen hajlamosak az oxidációra, ami autokatalitikusnak tekinthető. A folyamat antioxidánsok használatával szabályozható (Bonnie és Choo 1999). A fagyasztva szárított növényi nyersanyagok lehetnek szilárd vagy homogenizált por állagúak, mint például a gyümölcslevek vagy pürék. A szilárd csoportban tartozó alapanyagok rendelkeznek belső szerkezettel, kialakításuk sejtes eredetű. Az alma és a burgonya jó példája az egyszerű sejtszerkezetnek (Ratti 2013). A növények sejtfalát cellulózrostok építik fel, amelyek egy vagy több rétegben hemicellulózból, ligninből vagy pektinből álló váz erősít meg, a cellulózrostok térfogata és orientációja változó. A növényi sejtek geometriai felépítése változatos, pl. az alma és a burgonya sejtjei habszerű poliéder szerkezetet alkotnak. (Gibson 2012). Sejtek esetében a jelenlévő oldatok hozzájárulnak a sejtfal tulajdonságához, befolyásolják a rugalmasságot és a szerkezeti szilárdságot. A növényi sejtfal alkotó részei a cellulóz és a nem cellulózos eredetűek lehetnek, mint pl. a poliszacharidok. A cellulóz igen magas szakítószilárdsággal rendelkezik. Fagyasztva szárítás technológia alkalmazása során, ha megfelelő hűtési sebességet választunk, akkor a kialakuló jégkristályok nem fogják roncsolni a szerkezetet és megmarad az eredeti növényi textúrája, így a struktúra összeomlása elkerülhető (Bhatta és mtsai. 2020). A gyümölcsök esetében figyelembe kell venni a gyümölcs héját, ami lassítja a nedvesség eltávolítását. A sütőtökön végzett vizsgálatok során a termék színe erőteljesen változik a fagyasztva szárítás következtében, de a szöveti szerkezetben is

jelentős gyengülések jelentkeznek (Guiné és Barroca 2012). A késztermék szerkezeti stabilitását befolyásolja a tárolási hőmérséklet. A magasabb hőmérsékleten tárolt anyagok sérülékenyebbek. Fagyasztva szárított narancspüré szerkezete 50°C feletti tárolás esetén a termék fizikailag rugalmatlanná, merevebbé válik, ami szerkezeti repedezettséget vonhatja maga után (Silva-Espinoza, és mtsai. 2019). Az alacsony hőmérsékleten tárolt anyagok esetén a rehidratálás után jellemzően nem, vagy csak kis mértékben történik változás (Hammami és mtsai. 1999). Az illékony vegyületek megtartására kifejezetten előnyös a technológia alkalmazása, számos kutatási eredmény publikált. A fagyasztva szárított eljárással készült instant tea esetében az illékony vegyületek kétszer-ötször magasabb koncentrációban maradtak jelen a késztermékben más szárító eljárással szemben (Kraujalytè, és mtsai. 2016). Az illatanyagok fontos élvezeti értékkel bírnak egy termék esetén. Kávé minták esetén a fagyasztva szárítás volt az egyetlen eljárás, ahol kininsav jelenlétét sikerült kimutatni, más szárítósos eljárás során elillant a vegyület. Az illó anyagok nem kerülnek be a szublimáló vízgőzbe. Ennek eredményeként 80-100 %-os aroma visszatartás érhető el (Dong, és mtsai. 2019). Az állati szövetekben a fehérjék denaturációját vagy a fehérjék aggregációját az aktomiozin komplex változásai okozzák, ami textúraváltozásokat eredményez. A denaturált fehérjék kölcsönhatásba lépnek a szénhidrátokkal vagy zsírokkal (Connel 1957). A fagyasztva szárított ételek magas érzékszervi és táplálkozási értékkel rendelkeznek és megfelelő csomagolásban hosszú ideig eltarthatók. A termékek pórusszerkezete nyitott, lehetővé téve a gyors rehidratációt, de ugyan akkor törékeny, mely nagy sérülésveszélyt hordoz magában (Qian és Zhang 2011). Ez a szerkezeti nyitottság a fehérjékben, szénhidrátokban csak kisebb változást eredményez, de a lipidek tekintetében nagyban hozzájárul az oxidációhoz, amely ellen védőgáz és antioxidánsok használata javasolt (Chipault és Hawkins 1971). A legjobb minőségű termék elérése érdekében egyre több kutatás témája a különböző szárítósos technológiák egymással történő kombinálása. Eredményeként az előnyös tulajdonságok és lehetőségek kihasználása mellett optimalizálható a szárítás folyamata (Hnin és mtsai. 2019).

## **2.6. Fagyasztva szárítás hatására bekövetkező változások**

Általánosságban elmondható, hogy a szárítás hatással van az élelmiszer komponensekre, azok viselkedésére, de a különböző szárítási módok eltérő hatást eredményeznek (Siddigui és mtsai. 2024). A fehérjék táplálkozásbiológiai funkcióin túl

fontos technofunkciós tulajdonságokkal is rendelkeznek, mint az oldhatóság, habképző tulajdonság, emulgeáló képesség, víz- és olaj tartó képesség és a gélképződés, amelyek közvetlen hozzájárulnak az élelmiszer minőségéhez. A fehérje oldhatóságát tekintve előnyösebb a porlasztva szárítás alkalmazása, mint a fagyasztva szárítás alkalmazása azonban nem minden esetben, aminek a peptidok molekulatömege és az aminosav összetétel az oka. A porlasztva szárítással szárított porokban lévő fehérjék kisebb mértékűek, egyenletes a részecskeméret eloszlása. Ez azért alakul ki, mert a fehérjék a levegő-víz határfelületén részlegesen kinyílnak. Az emulgeáló képesség mérőszámai az emulgeáló aktivitási index (EAI) amely számszerűsíti egy fehérjeegység által stabilizált határfelületi területet, és az emulzió stabilitási index (ESI) amely meghatározza az emulziók időbeli stabilitását. A stabilitás alapanyagfüggő, ami szintén a peptidláncok hosszától függ. A rövid peptidok az olaj és a víz közötti határfelületen képeznek emulziót, míg a hosszú peptidok körülölelik az olajcseppeket, és vastagabb, erősebb filmeket alkothattak (Kanwate és mtsai. 2019). A szénhidrátok fagyasztva szárítás hatására kikristályosodhatnak, ami különösen jellemző a keményítőre. A keményítőszemcsék belső szerkezetét és felületét a szárítási körülmények megváltoztatják. A változások hatással vannak a kémiai reakcióképességre, zselatinizációra, retrogradációra és a ragasztási tulajdonságára (Oyinloye és mtsai. 2020). A melegítés a keményítőben az amilóz és az amilopektin átrendeződését és töredezettségét okozza, ami növeli a rezisztens keményítő mennyiségét. A magasabb hőmérsékleten történő szárítási eljárások hatására a keményítőszemcsék merevebbek lesznek. Ez a változás csökkenti vízdoldhatósági mutatójukat, duzzadási potenciáljukat a csirizesedés során ezért a fagyasztva szárítás technika alkalmazása előnyösebb mivel alacsony hőmérsékleten történik a szárítás. Az élelmi rost eltérően viselkedik a szárítás során az alkalmazott technológia függvényében. A rosttartalom megőrzésére a napon történő természetes szárítás legoptimálisabb. Az 50–60°C-on történő szárítás elősegíti a sejtfalpolimerek bomlását. A levegőn történő szárítási hőmérséklet emelkedésével vízvisszatartó képesség és oldhatósági értéke is jelentősen csökkent. Fagyasztva szárítás hatására az élelmi rostok fizikai és kémiai tulajdonságaik és a hipoglikémiás hatásai javulnak. Jelentősen csökken az oldható és oldhatatlan élelmi rostok térfogatsűrűsége, és nő az oldható élelmi rostoldatok viszkozitása. Megváltozik a rost szerkezete, ami hatással lehet a funkcionális tulajdonságaikra (Liu és mtsai. 2017).

Fontos minőségi és érzékszervi jellemző a termék állománya. Különösen fontos az a tulajdonság, hogy egy fagyasztva szárított élelmiszerek a rehidratáció során mennyire nyerik vissza az eredeti élelmiszer állományát, illetve tulajdonságait. Ezeket a minőséget meghatározó tulajdonságokat a fogyasztók közvetlen érzékelik (Destefanis, és mtsai. 2008). A rehidratáció kinetikai modelljei általában empirikus egyenletek, amelyek paraméterei a fő folyamatváltozók függvényei. A szárított növényi szövetek rehidratációja három egyidejű folyamatból áll: a víz felvétele a szárított anyagba, a duzzadás és az oldható anyagok kioldódása (Lewicki 1998). A rehidratáció mértéke függ a sejtes és szerkezeti roncsolódás mértékétől. Szárítás során visszafordíthatatlan sejtfal sérüléseket és elmozdulásokat figyeltek meg, ami az integritás elvesztését eredményezi. Ennek következtében sűrű, összeesett, zsugorodott kapillárisok keletkeznek. Az előzmények következtében jelenik meg a csökkent hidrofilsajátosság és a teljes rehidratációra való alkalmatlanság (Jayaraman és mtsai. 1990). Fagyasztva szárított répaszeleteket vizsgálata során hasonló eredmények alapján kutatók a cukrok mobilizálhatóságára hívták fel a figyelmet, ami szintén hatással van a rehidratációra, mert elzárják a kapillárisokat, amelynek kiküszöbölésre a balszírozást javasolták (Vergeldt és mtsai. 2021).

Véleményem szerint a megfelelő méretű kapillárisok kialakítása és megőrzése kulcsfontosságú a rehidratáció lezajlása szempontjából. A fagyasztva szárított 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 1980-as években az USA hadseregében használatos katonai élelmiszercsomagjai közé tartoztak a fagyasztva szárított gyümölcsök, különböző burgonya alapú ételek és a főtt húsok. A készételek rehidratálása kihívást jelentett a katonák számára. Az élelmiszerek vagy túl vagy alul hidratáltak maradtak (Moody 2019), ezért a fagyasztva szárított élelmiszerek esetében a megfelelő rehidratálás és a megfelelő rehidratáció képesség kialakítása jelenti a legnagyobb technológiai kihívás. A szabad víz és a lazán kötött víz (adhéziós, kapilláris) rehidratálása könnyen végbemenő folyamat, mivel nem érinti a kolloid makromolekulás rendszert. A kötött víz eltávolításával már csökken az élelmiszer rehidratáló képessége. A vízlevonás következtében az élelmiszer makromolekulái megváltoznak. Zsugorodás és egyéb szerkezeti változások történnek, amelyek befolyásolják a hidratációt a vízkötő

aktív helyek hozzáférhetőségével (Krokida, és mtsai. 1998). Fontos megemlíteni, hogy az összes szárítási technológia és folyamat közül a fagyasztva szárítás technológia alkalmazásához köthető a legnagyobb becsült karbon lábnyom (Karwacka, és mtsai. 2022).

A fagyasztva szárított élelmiszerek katonai szempontból több hasznos és előnyös tulajdonsággal rendelkeznek, mint a kicsi tömeg, hosszú idejű, stabil eltarthatóság és a relatív gyorsan fogyasztásra készre tehető jelleg miatt, de kiemelten fontos a rehidratációs tesztek során leírt negatív tulajdonságok kiküszöbölése.

## **3. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK**

### **3.1. Anyagok**

#### **3.1.1. Növényi eredetű nyersanyagok, élelmiszerek**

##### Burgonya

A burgonya mintákat dr. Polgár Zsoltól, a Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem egyetemi tanára bocsátotta rendelkezésemre. A minták a Magyar Kertészeti Szaporítóanyag Nonprofit Kft. keszthelyi Burgonyakutatói Központ által termesztett 2023-as termésből származtak. A minták a betakarítást követően sötétben, 8–10°C-os hőmérsékleten voltak tárolva, a szokásos burgonyatárolási feltételeknek megfelelően. A minták 6 fajtából (Arany chipke, Balatoni rózsza, Basa, Démon, Hópehely, Somogyi kifli) és 3 fajtajelöltből (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, indukciós főzőlapon (ZANUSSI ZEI6640XBA, Europe Group Companies, Electrolux Home Products, Franciaország) végeztem. A mintákat addig főztem, amíg el nem érték a technológiailag főtt állapotot (fajtától függően 35-45 perc, a főzési idő fajtafüggő volt). Főzés után hideg, átfolyó csapvízben hűtöttem a mintákat 20°C eléréséig, hogy megakadályozzam a további elváltozásokat. A mintákat műanyag tálcába helyeztem és a Debreceni Egyetem, Nanofood laborja által fejlesztett fagyasztva szárító készülékkel szárítottam. 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 végbe menjen a teljes nedvesség eltávolítás és az utószárítási műveletek is (Ratti 2013). Az eljárást követően a mintákat vákuumcsomagoló berendezéssel (MAXIMA MVAC 300 Maxima Holland Spangenberg International B.V., Mijdrecht, Utrecht, Hollandia) azonnal -1 bar nyomáson csomagoltam.

##### Lencse

Közepes szemű barna lencsét vizsgáltam, melyeket 2021 decemberében vásároltam véletlenszerű, szubjektív válogatással. A minták a Spar Magyarország, CBA, TESCO, Aldi, Lidl és helyi zöldséges üzletekből származtak a forgalomban levő, 500 g-os kiszerezéseken. A kiválasztási kritérium az volt, hogy a terményeknek vagy

forgalmazójuknak vagy a származási országuknak különbözniük kell. Tizenöt féle lencsét vizsgáltam (2. táblázat) ami tizenhárom különböző forgalmazótól és két különböző országból származtak.

**2. táblázat:** Lencseminták származási országa

<b>Minta azonosító</b>	<b>Származási ország</b>
1	n.a.
2	n.a.
3	Oroszország
4	Oroszország
5	Oroszország
6	Kanada
7	Kanada
8	Kanada
9	Kanada
10	Kanada
11	Kanada
12	Kanada
13	Kanada
14	Kanada
15	Kanada

## Rizs

A vizsgálathoz 8 különböző rizst vásároltam kereskedelmi forgalomból TESCO és SPAR üzletből, amelyek a következők voltak: 1 kg BLUE CHIPS előgőzölt „A” rizs, 1kg HADÁSZI KFT Debrecen, hosszúszemű „B” rizs, 1 kg hosszúszemű „A” rizs SCOTTI Olaszország, 500 g Ben’s Original főzőtasakos jázmin rizs, 500 g Ben’s Original főzőtasakos barna rizs, 500 g Ben’s Original főzőtasakos basmati rizs, 1 kg RICELAND hosszúszem rizs, 1 kg MESTER hosszúszemű „A” rizs. A minták elkészítése minden esetben megegyezett a gyártók által ajánlott konyhatechnológiai utasítással.

## Szárastészta

A tésztaféléket kereskedelmi forgalomól TESCO üzletből vásároltam, amelyek a következők voltak: 3 különböző márkájú durum (500 g Gyermelyi VITA PASTA spagetti, 500 g Linguine Tesco-Global Áruházak Zrt. és 500 g Don Francesco spagetti Mary-KerPasta Kft.), és 3 különböző márkájú nem durum búza spagetti tésztát (500 g

Dunakeszi 2 tojásos spagetti, 500 g Gyermelyi 4 tojásos spagetti és 500 g Tesco-Global Áruházak Zrt. 4 tojásos spagetti), tarhonya (250 g Tesco-Global Áruházak Zrt.). A minták elkészítése minden esetben megegyezett a gyártók által ajánlott konyhatechnológiának.

#### Zöldség és gyümölcs

A zöldséget és a gyümölcsöt kereskedelmi forgalomból, TESCO üzletből vásároltam, amelyek a következők voltak: gyorsfagyasztott zöldborsó (450 g Tesco-Global Áruházak Zrt.), gyorsfagyasztott csemegekukorica (450 g Tesco-Global Áruházak Zrt.), jonagold fajtájú alma (lédig).

#### Szószek

A szószokat kereskedelmi forgalomból, SPAR Magyarország, CBA, AUCHAN és TESCO, üzletekből vásároltam, amelyek a következők voltak: lecsó 30% paprikával (680 g Premiko, üveges), mézes mustáros (400 g Unilever), krémes gomba szósz (400 g, Unilever), bolognai szósz (400 g, Barilla), India Bon menü (400 g Bonduelle – lencsés szósz), édes-savanyú mártás (675 g Ben's Original), Tejszínes paradicsomos szósz korianderrel (450 g Tikka Masala, Patak's Original), pörköltzsaft (pörköltkocka KNORR). A kereskedelemben jelenlevő termékekkel használata, nem befolyásolta a technológia alkalmazhatóság vizsgálatát és élelmiszerbiztonság szempontjából kifogásolhatatlan alapanyagot biztosított a további vizsgálataim elvégzéséhez.

#### Smoothie

A smoothie-kat kereskedelmi forgalomból, SPAR Magyarország üzletekből vásároltam, amelyek a következők voltak: Trópusi mangó (250 ml Sió), Frissítő zöld kiwi (250 ml Sió).

### 3.1.2. Állati eredetű nyersanyagok, élelmiszerek

#### Sertéshús

A mintákat magyarországi kereskedelmi üzletből hűtött, vákuumsomagolt 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, ínát vagy zsírszövetet minimálisan tartalmaz. A gazdaságosság szempontjának is megfelelő, közel állandó geometriai formával rendelkezik. A vizsgálatokat és a méréseket háromszor ismétlésben végeztem. 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 célja, 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 sertéskarajok súlya 2,9-3,2 kg között változott. A csomagolás nyitása után az alapanyagot rozsdamentes acél késsel, kereszt irányba, 5 cm széles szeletekre vágtam, és konyhai kuktában (BONQUET 7L) 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 víztartalom és állomány változás. A hőkezeléshez 7,4 kW teljesítményű indukciós főzőlapot (ZANUSSI ZE16640XBA, Europe Group Companies, Electrolux Home Products, Franciaország) használtam. A kezdeti főzővíz hőmérséklete 20°C volt. Az atmoszférikus főzés során a melegítési idő a forráspont elérésig 15 perc volt, a főzési idő pedig 145 perc a forrásponttól. A magasabb nyomáson történő főzés esetén a melegítési fázis 25 perc és a forrási fázis 60 perc volt. A kukta főzési hőmérséklete 120°C volt, melyet a kuktába szerelt hőmérővel ellenőriztem. A főzés után a mintákat a főzővízben 1 óra hossza alatt hűtöttem ki, majd hűtőbe helyeztem (Whirlpool modell: ART 9811/A ++SF, gyártó: Whirlpool Corporation, Egyesült Államok) 5°C hőmérsékleten 24 órán keresztül és mindvégig a saját levéllel fedve tároltam megakadályozva a felületi száradást. Ez után a mintákat az AMSA nyírőerő méréséhez ajánlott módszer (WBSF) szerint alakítottam ki (AMSA 2015) ami a következő volt. A minták kialakítása a 3-5 ábrán látható. Először az izomrostokkal párhuzamos irányban 1,27 cm (0,5 nemzetközi hüvelyk) széles szeletekre vágtam. A minták pontos méretre vágásához saját készítésű késvezetővel ellátott vágódeszkát használtam.



**3. ábra** Minták kialakítása /1

A vágásokat rozsdamentes acél késsel végeztem. A vágás eredménye 1,27 cm (0,5 nemzetközi hüvelyk) széles és 4 cm hosszú téglatest formájúra hússzeletek lettek, melyeken jól láthatóak a hús rostjainak iránya.



**4. ábra** Minták kialakítása /2

A szeleteket tovább aprítottam a rostiránnyal párhuzamosan 1,27 cm szélesen.



**5. ábra** Minták kialakítása /3

Eredményként azonos 1,27x1,27x4 cm méretű, hosszanti irányú párhuzamos húrost irányú téglatest formákat készítettem. A mintákat hűtőszekrényben (WHIRLPOOL ART 9811/A ++SF, Whirlpool Corporation, Egyesült Államok) 5°C-on tároltam 12 órán keresztül majd hűtőlánc megszakítása nélkül a laboratóriumba szállítottam és előkészítettem a fagyasztva szárításhoz. A minták felületéről a maradék nedvességet papírtörülővel ittam fel. A fagyasztva szárítást a Debreceni Egyetem, Állattenyésztési Tanszék, Nanofood Laborjában végeztem, a labor saját készítésű fagyasztva szárító berendezésével. A minták hőmérséklete a kezelés kezdetén +4°C, a vákuumkamrában a nyomás 0,01 bar, a kondenzációs kamra hőmérséklete -40°C volt. A minták hőmérsékletét a kezelés során beépített maghőmérővel mértem. A fagyasztva szárítást 42°C maghőmérsékletig, de legalább 24 óráig tartott. Ezek a paraméterek elegendők a szabadvíztartalom eltávolításához és az utószárítás lezajlásához (Ratti 2013). Az eljárás végén a mintákat kivettem és a lehető legrövidebb időn belül vákuumcsomagoltam, 0,01 bar nyomáson (MAXIMA MVAC 300, Maxima Holland Spangenberg International B.V., Hollandia). A kontrollminták esetében a C1 minta a főzési hőmérséklete 100°C volt, a hagyományos elkészítési módot modellezve, a C2 minta esetében 120°C volt, az ipari körülményeket modellezve. 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 C3 40°C-os kontrollmintát használtam a 30°C-on végzett mérésekhez. A minták melegítését vízfürdőben végeztem.

Hal

A halakat konzervált formában AUCHAN és TESCO, üzletekből vásároltam, amelyek a következők voltak: Szardínia sós lében (125 g TESCO), Szardínia napraforgóolajban (125 g TESCO), Heringfilé növényi olajban (170 g EVA).

## **3.2. Módszerek**

### **3.2.1. Analitikai vizsgálatok**

A táp- és elemtartalom méréseket a magyarországi Nemzeti Akkreditáló Testületének akkreditációval rendelkező Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Agrárműszerközpontjába végeztem az alábbi módszerek szerint:

Lencse:

- Minta előkészítés MSZ6367-1:1983
- Nedvesség tartalom MSZ ISO 6496:2001
- Nyersfehérje (Kjeldahl módszer) MSZ EN ISO 20483:2014
- Szénhidrát fenolkénsavas módszer (Lásztity-Törley: Élelmiszer Analitika Elméleti Alapjai I. 1987, 3.7.2.3. fejezet)
- Összes élelmi rost (enzimes hidrolízis) Magyar Élelmiszerkönyv 3-2-2008/1sz. irányelv 1. sz. melléklet
- Redukáló cukor m/m% MSZ 6830-26:1987
- Kalcium ICP-OES MSZ-08-1783-26:1985
- Réz ICP-OES MSZ-08-1783-34:1985
- Vas ICP-OES MSZ-08-1783-31:1985,
- Kálium ICP-OES MSZ-08-1783-29:1985
- Magnézium ICP-OES MSZ-08-1783-27:1985
- Mangán ICP-OES MSZ-08-1783-32:1985
- Nátrium ICP-OES MSZ-08-1783-30:1985
- Foszfor ICP-OES MSZ-08-1783-28:1985
- Kén ICP-OES MSZ-08-1783-38:1985
- Cink ICP-OES MSZ-08-1783-33:1985

Zsírok oxidációja:

- savszám: MSZ EN ISO 660:2021 9.1. szakasz
- peroxidszám MSZ EN ISO 3960:2017

Burgonya:

- Előkészítés MSZ 6367-1:1983
- Nedvesség tartalom meghatározás: MSZ ISO 6496:2001
- Nyersfehérje MSZ EN ISO 5983-2:2009
- Keményítő MSZ 6830-18:1988 (visszavont szabvány) 2. fejezet
- Redukáló cukor MSZ 6830-26:1987

Minden eredményt szárazanyagtartalomra vonatkoztattam!

### 3.2.2. 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.

### 3.2.3. Vízaktivitás mérés

A vízaktivitás meghatározását Walter leírása alapján végeztem, miszerint a zárt térben kialakult vízgőz nyomása mérhető az azonos légtérben kialakuló egyensúlyi relatív páratartalom nagyságával (Walter 1931):

$$a_w = \frac{P_g - ERP}{P_{gt} - 100}$$

A relatív páratartalom és a környezeti hőmérséklet mérését ARDUINO NANO hardverhez csatolt DHT22 szenzorral és ARDUINO IDE 2.2.1 szoftverrel, 1 másodperces detektálási idővel a mérési adatok állandóságáig, de legalább 24 óra hosszat végeztem. A használt szenzor érzékenysége és pontossága a gyártó leírása szerint 2-5 relatív páratartalom százalék. A kalibrálást 3 szenzor egyidejű, azonos környezetben történő használatával végeztem, az eredmények megerősítésére HAMA TH-130 (HAMA GmbH & Co. Kg Monheim, Németország)  $\pm 1\%$  páratartalom pontosságú hőmérséklet és

páratartalom mérőt használtam. A mért adatok alapján az egyensúlyi relatív páratartalom értékeit Mollier féle h-x diagramm (1. melléklet) segítségével 25°C hőmérsékletre vonatkoztattam a szakirodalmi összehasonlíthatóság érdekében. A számolás során a külső légköri nyomást egységesen 100 kPa-nak tekintettem.

#### 3.2.4. Színmérés

A színmérést KONICA MINOLTA CR-410 (KONICA MINOLTA SENSING, INC. JAPAN) 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 széles körben elfogadottak az élelmiszervizsgálatok (Wrolstad és Smith 2017) és fagyasztva szárított burgonyavizsgálat színmérése során (Pieniazek és Messina 2017).

$$\Delta E = \sqrt{\Delta a^{*2} + \Delta b^{*2} + \Delta L^{*2}}$$

Ahol:

$\Delta E$  a CIE<sub>Lab</sub> színtérben két pont között számított színingerkülönbség

L\* az észlelhető világosság feketéből a fehérbe

a\*: színkoordináta a pirosból (+a\*) a zöldbe (-a\*)

b\*: színkoordináta a sárgából (+b\*) a kékbe (-b\*)

Az L\* koordináta a világosságnak mértéke, melyen az a\* és b\* koordináták merőleges síkot alkotnak. Az a\* koordináta a világosságnak megfelelő kromatikus ponttól való eltérést jelzi, a pozitív értékek pirost, a negatív értékek pedig zöldet jelez. A b\* koordináta jelzi a pozitív értékek esetén a sárga felé, a negatív értékek esetén a kék felé történő elmozdulást. A méréseket szobahőmérsékleten 5 cm átmérőjű vizsgálati felülettel végeztem 5 ismétléssel. Mértem a nyers burgonya, a főtt burgonya (fagyasztva szárítás előtt), a fagyasztva szárított és a rehidratált burgonya minták színét. A mérési eredmények elfogadása előtt a változékonyság értékeléséhez meghatároztam a variációs koefficiens (CV) értékét az alábbi formula szerint:

$$CV = \frac{\sigma_x}{|\bar{x}|}$$

Ahol:

$\sigma_x$ : Az X változó szórása

$|\bar{x}|$ : Az X változó átlagának abszolút értéke

$\bar{x} \neq 0$  értékkel

Egy mérési sorozat kivételével (CV=11,2) a variációs koefficiens értéke minden esetben 10-nél kisebb volt, ami azt jelenti, hogy a mérési eredmények homogének, mely alapján az adatokat elfogadhatónak tekintettem.

A mérési eredményekből matematikai átlagot számítottam az alábbiak szerint:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

### 3.2.5. Szerkezeti stabilitási módszer

A szerkezet stabilitás vizsgálatot burgonya esetében végeztem. A liofilizált burgonyamintákat vákuumcsomagolásban, szobahőmérsékleten (22°C) napfénytől védve, sötét helyen tároltam, majd 45 nap elteltével a csomagokat kinyitottam. A fagyasztott szárított burgonyát méret szerint frakcionáltam. Különválasztottam az egész (1 cm-nél nagyobb) és a töredezett (1 cm-nél kisebb) vagy por állagú frakciókat. A töredezett részt méret szerint tovább frakcionáltam szitálással méret szerint 1 mm-nél nagyobb és 1mm-nél kisebb frakciókra. A halmazok tömegét analitikai mérleggel mértem (ADVENTURER PRO AV4102C, Ohaus Corporation, Svájc). Az egész és a töredezett részek arányát (Egra) százalékos formában fejeztem ki az alábbi számolás szerint:

$$Egra = \frac{\text{egész rész tömege (g)}}{\text{töredezett rész tömege (g)}}$$

### 3.2.6. Állományvizsgálat

A fagyasztva szárítás után két óra elteltével a vákuumcsomagolt húskockákat tartalmazó tasakokat kinyitottam és különböző hőmérsékletű vízfürdőben rehidratáltam. A rehidratációhoz használt víz hőmérséklete 30°C, 40°C, 50°C volt, az alkalmazott rehidratáció ideje 2; 4; 6; 8; 10 ± 0,5 perc volt. A rehidratációs idők kijelölése az Egyesült Államok, a Védelmi Logisztikai Ügynökség, Nemzet Harci Logisztikai Támogató Ügynökségének (United States, Defense Logistics Agency, The Nation's Combat Logistics Support Agency) élelmiszerek előkészítésére vonatkozó követelményének

megfelelve határoztam meg miszerint a dehidratált élelmiszerek elkészítésének ideje a katonák esetében 5-12 percben közt lehet (DLA 2020). A rehidratálás elvégzéséhez minden esetben csapvizet alkalmaztam. A mintákat a rehidratáció során véletlenszerűen választottam ki és a metszéshez szükséges nyíróerőt közvetlen mértem. A mérések ismétlése 5-8 volt. A mérések során a teljes nyíráshoz szükséges maximális erő meghatározása volt a célom. Az előkészített mintákat TAXT Plus textúra elemző (Stable Micro Systems Ltd., UK) készülékhez kapcsolt Warner-Bratzler állományvizsgáló készülékkel végeztem, 60°-os V-hornyos penge használatával. A penge haladási sebességét 2,0 mm/s volt.

### 3.2.7. Statisztikai elemzés

A statisztikai elemzéseket RStudio szoftverrel végeztem (R CORE TEAM 2022). A tápanyag vizsgálat során az összes adatot átszámoltam a szárazanyag tömegére és 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-értékek=0,05) az adatok összehasonlításához. Az állományvizsgálatok során az eredményeket g-ról N-ra váltottam 0,00980665-tel szorozva. Az adatok értékelése leíró statisztikai módszerekkel, kétmintás t-próbával és regressziós analízissel történtek. A különböző vízhőmérsékleteken végzett maximális nyíró erő nagysága és a rehidratáció ideje közötti összefüggést minden esetben 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 16.017531szoftverrel végeztem.

## 4. 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 célom. Az egyes vizsgálatok során mintának azon élelmiszeralapanyagokat választottam ki, amelyeket relevánsnak tartottam a mérések elvégzéséhez és relevánsak a hipotézis vizsgálata szerint. E szelektálás eredményeként több alapanyagon is sikerült különböző vizsgálatokat végeztem, ami hozzájárult a komplexitás feltárásához és több a nemzetközi gyakorlatban is alkalmazható ismerethez. A tápanyag vizsgálatok során a közepes szemű barna lencsét választottam mert költségeit tekintve olcsó, könnyen tárolható és magas tápanyagtartalommal rendelkező nyersanyag. A digitális képelemzésre, a színmérésre, a szerkezeti stabilitás és rehidratációs vizsgálatra a fagyasztva szárított főtt burgonyát választottam. Ennek az az oka, hogy tárolás során felfigyeltem rá, hogy bizonyos alapanyagok szabad szemmel jól látható módon változnak, bizonyos alapanyagokon viszont nem történik változás, ami kapcsolatban volt a későbbi rehidratáció próbák eredményeivel. Ez a folyamat a főtt fagyasztva szárított burgonya esetében volt a legszembetűnőbb ezért az összefüggések mélyebb feltárása érdekében ezen alapanyagon végeztem ezen vizsgálatokat. Vízáktívitás méréséhez vegyesen több fagyasztva szárított élelmiszert választottam, hogy átfogó eredményt kapjak. A vízáktívitás szorosan kapcsolatban van az oxidációs folyamatokkal ezért 4 különböző, a vizsgálat szempontjából nagy relevanciával bíró, olaj és zsírtartalmú élelmiszert választottam az avasodás mértékének meghatározására. Állományvizsgálatra sertéskarajt választottam. Ennek az az oka, hogy a hús jelenleg is elérhető a kereskedelmi forgalomban kapható fagyasztva szárított készletekben, azonban méretének dimenziói 1 cm körül vannak. Ennek következtében a fogyasztónál nem teljesül az az érzet, amit egy nagyobb falat hús rágása nyújt, amely meglátásom szerint fontos részét képezi egy élelmiszer élvezeti értékének meghatározása során. A katonai csapatpróbára az eredmények és tapasztalatok felhasználásával egy összetett készített készítettem külön fagyasztva szárított alkotókból a rehidratációra vonatkozó utasítással, modellezve egy étkezést egy katonai komplettírozott élelmiszercsomagból.

A fent felsorolt relevancia szelektálás eredményeként meglátásom szerint több, az ételmisszer komplexitásának megfelelő, mérhető, összetett és gyakorlatban is alkalmazható eredményeket sikerült elérnem melyek az alábbiak.

#### **4.1. 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 szervezet megnövekedett tápanyagigényének kielégítése miatt elengedhetetlen, az alapanyagok tápanyagtartalmának pontos ismerete. Meglátásom szerint a honvédség ételmezési rendszere a költségre és az emberi biológiai szükségletre szűkül, amit az elérendő cél tényezője szélesíthet a táplálkozástudomány újabb és újabb eredményein keresztül. A felsorolt három aspektust egyszerre kell kezelni. Vizsgálataim végrehajtására a közepes szemű barna lencsét és a burgonyát választottam, mert ezen alapanyagok megfelelnek mindhárom szempontnak. Jelentős részét képezik a magyar gasztronómiának, amely fontos a távoli vidékeken szolgálatot teljesítő katona számára. Munkám során megmértem a közepes szemű barna lencse tápanyagtartalmát és az eredményeket összehasonlítottam a referencia adatokat tartalmazó hazai és nemzetközi adatbázisokban fellelhető adatokkal. A burgonyaminták tápanyagvizsgálatait azért végeztem, mert a burgonya fagyasztva szárítás során fajtánként eltérő tulajdonságot mutatott ezért ezen változók kapcsolati rendszerének feltárása elsődleges az fagyasztva szárításra főtt állapotban alkalmas burgonyafajta meghatározására és a mezőgazdasági céltermelés megalapozása szempontjából.

##### **4.1.1. Lencse**

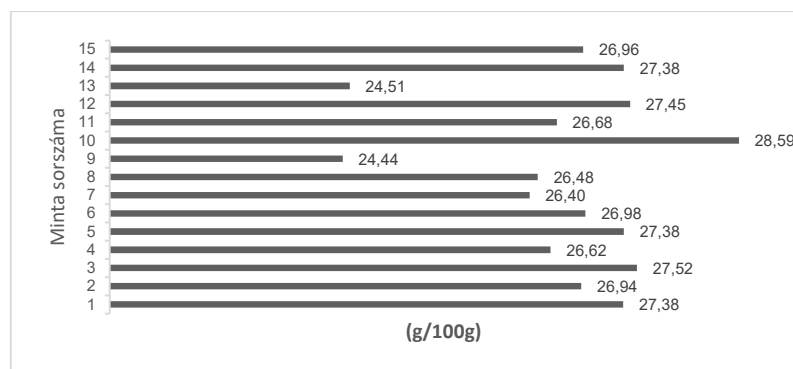
A lencse hadélelmezési alkalmazása jelen ismereteink alapján egészen az ókorig nyúlik vissza. Az általánosan ismert előnyök, mint a termelési költsége, a kereskedelmi ára, az eltarthatósága, a változatos elkészítése és a könnyű szállíthatóságán túl előnye még, hogy hüvelyesek közül legmagasabb a fehérje tartalma, és tartalmazza az összes esszenciális aminosavat. A lencséből készült liszt széleskörűen felhasználható, amely kiváló és kiegyensúlyozott tápanyagösszetétellel rendelkezik. Felhasználható pékárukban

(pl. kenyér, sütemény, keksz), extrudált termékekben (pl. tészta, snackek) és egyéb termékekben (pl. szószok, levesek, tejtermékek és húskészítményekben). Felhasználásával a cöliákiában szenvedők részére is biztosítható a szénhidrátforrás. A lencsében különböző fenolos vegyületcsoportok találhatóak, amelyek antioxidáns hatásúak, képesek a fémionok kelátképzésével vagy enzimek gátlásával csökkenteni a reaktív oxigénfajták, például a szuperoxid-anion képződését (Kiran 2021). Összehasonlítva más hüvelyesekkel a lencse rendelkezik a legmagasabb összes fenoltartalommal. A különféle ismert fenolos vegyületek mellett a lencse főleg fenolos savakat, flavonoidokat és kondenzált tanninokat tartalmaz. Fő fenolkomponense a flavonoidok, amelyek a maghéj fő vegyületei (Shahidi 2015). Az előnyös tulajdonságait összegezve meglátásom szerint alkalmas és fontos alapanyaga a katonai táplálkozásnak, ezért a megfelelő tervezés érdekében részletes vizsgálatot végeztem a kereskedelmi forgalomban vásárolható lencse tápanyagtartalmán és az adatokat összehasonlítottam a referencia szerinti iránymutató tápanyagadatbázisokban fellelhető adatokkal. Az eredmények az alábbiak:

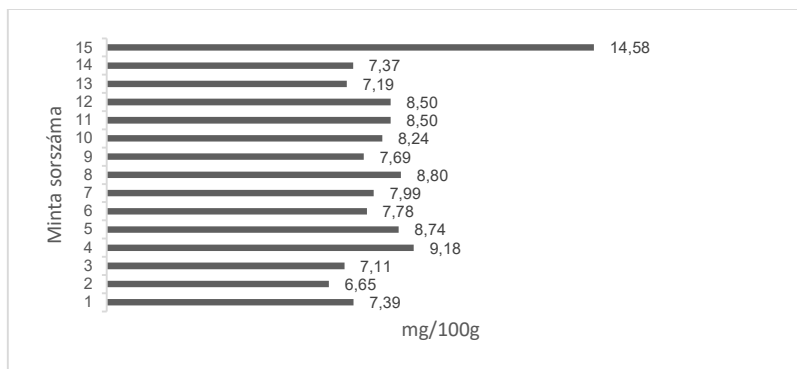
### 3. táblázat: Lencse minták szárazanyag tartalma:

Minta sorszáma	Szárazanyag (g/100g)	Minta sorszáma	Szárazanyag (g/100g)	Minta sorszáma	Szárazanyag (g/100g)
1	88.6	6	88.4	11	88.5
2	88.6	7	88.4	12	88.7
3	88.6	8	88.7	13	88.6
4	88.6	9	88.6	14	88.5
5	88.5	10	88.4	15	88.8

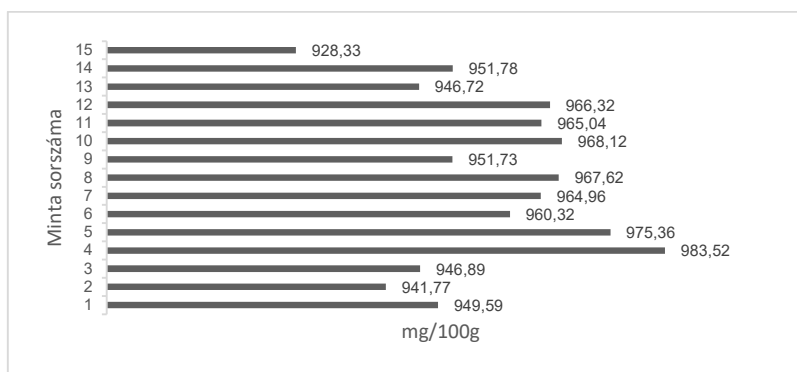
A lencseminták táp- és elemtartalom vizsgálatok eredményeit az 6-16. ábra tartalmazza.



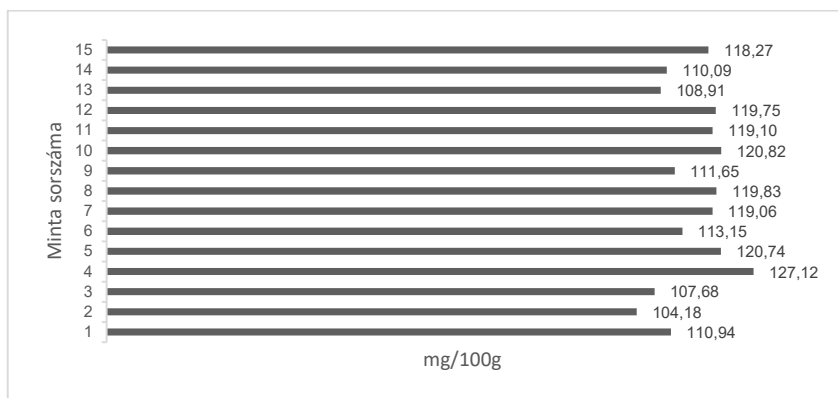
6. ábra Lencseminták fehérjetartalma



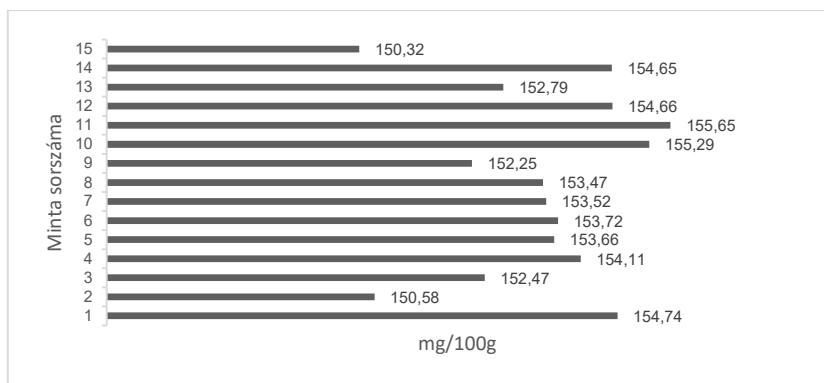
**7. ábra** Lencseminták Na tartalma



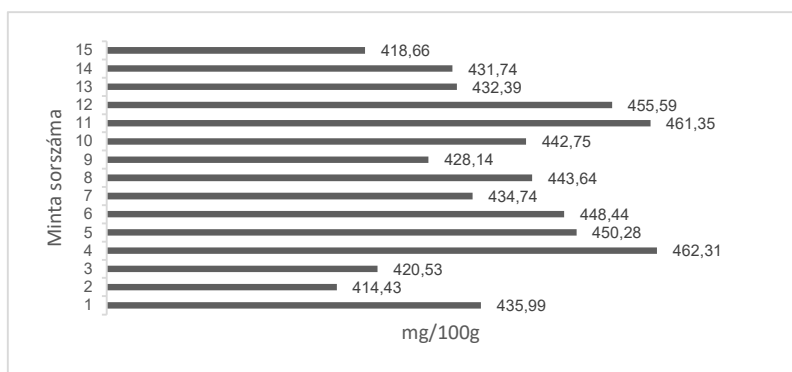
**8. ábra** Lencseminták K tartalma



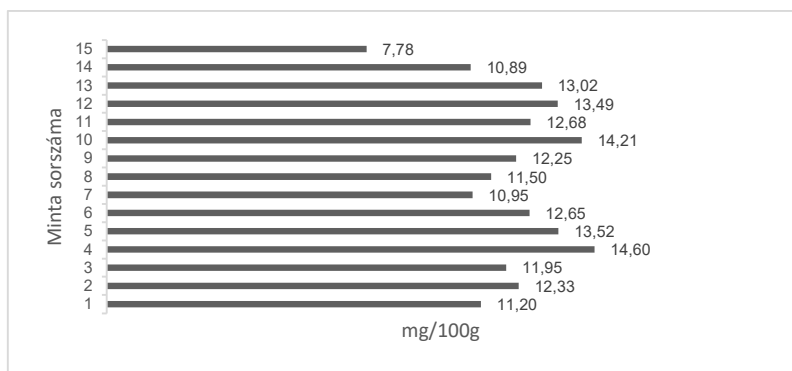
**9. ábra** Lencseminták Ca tartalma



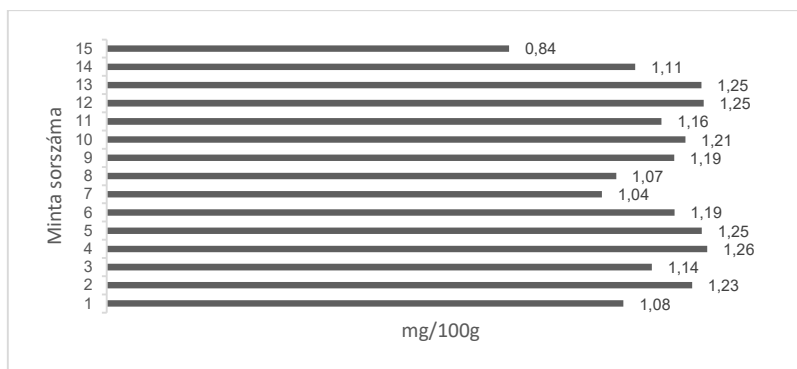
**10. ábra** Lencseminták Mg tartalma



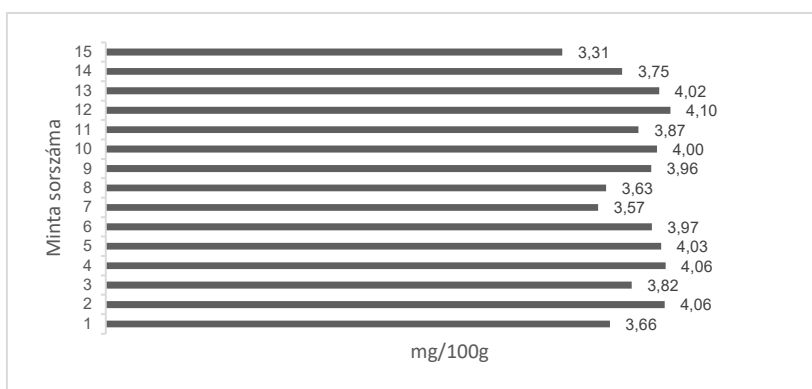
**11. ábra** Lencseminták P tartalma



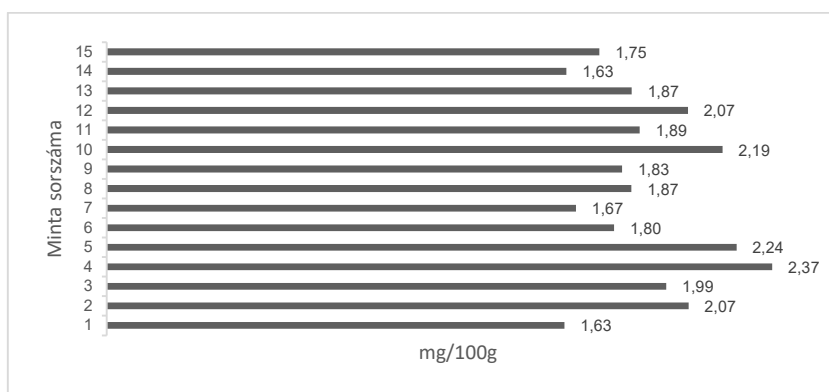
**12. ábra** Lencseminták Fe tartalma



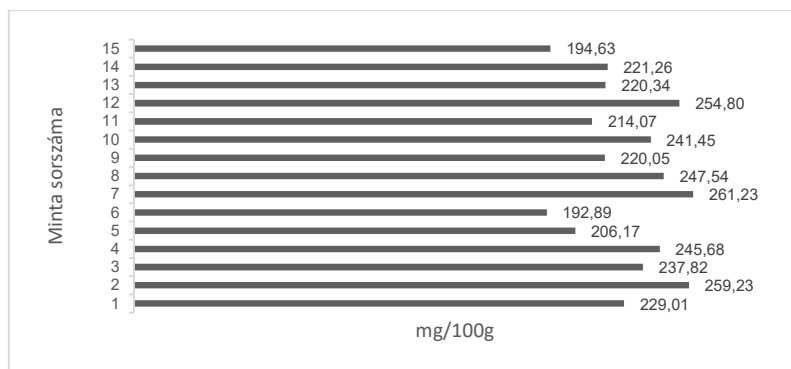
**13. ábra** Lencseminták Cu tartalma



**14. ábra** Lencseminták Zn tartalma



**15. ábra** Lencseminták Mn tartalma



**16. ábra** Lencseminták S tartalma

Az eredmények elsődleges értékelése során az átlagostól eltérően magas Na mennyiséget tapasztaltam a 15. számú minta esetében. Az eredményeket ellenőriztem. Bár a lencse, Na tartalma változékony, de a kérdéses minta Na mennyisége közel a duplája volt a többi mintában mért mennyiségének, ezért elvettem a 15. számú minta Na mennyiségre vonatkozó adatát.

Az elem és tápanyagtartalom eredményekből leíróstatistikai elemzést végeztem, amely eredményeit a 4. táblázat tartalmazza.

**4. táblázat:** Lencseminták táp- és elemtartalom mennyiségének leíróstatistikai elemzése

Táp- és ásványi anyagok	n	Átlag	Szórás	Medián	Terjedelem	Minimum	Maximum	Standard hiba	CV%
Fehérje (g/100g)	15	26,78	1,08	26,96	4,15	24,44	28,59	0,28	4,03
Na (mg/100g)	14	7,94	0,75	7,89	2,53	6,65	9,18	0,20	9,41
K (mg/100g)	15	957,87	14,30	960,32	55,19	928,33	983,52	3,69	1,49
Ca (mg/100g)	15	115,42	6,35	118,27	22,95	104,18	127,12	1,64	5,50
Mg (mg/100g)	15	153,46	1,56	153,66	5,32	150,32	155,65	0,40	1,02
P (mg/100g)	15	438,73	15,05	435,99	47,88	414,43	462,31	3,88	3,43
Fe (mg/100g)	15	12,20	1,66	12,33	6,82	7,78	14,60	0,43	13,63*
Cu (mg/100g)	15	1,15	0,11	1,19	0,42	0,84	1,26	0,03	9,67
Zn (mg/100g)	15	3,85	0,23	3,96	0,78	3,31	4,10	0,06	5,87
Mn (mg/100g)	15	1,92	0,22	1,87	0,74	1,63	2,37	0,06	11,69*
S (mg/100g)	15	229,75	22,22	229,01	22,22	192,89	261,23	5,74	9,67

\* közepesen változékony

A minták fehérjetartalmát tekintve a mennyisége átlagosan 26,8 g/100 g, mediánja 27,0 volt. A minimális érték 24,4, a maximális 28,6 g/100g volt. A variációs együttható 4,0, ami azt jelenti, hogy az eredmények homogének. 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, amelyet a 5. számú táblázat tartalmaz.

**5. táblázat:** A kanadai lencseminták táp- és elemtartalom mennyiségének leíróstatisztikai elemzése

Táp- és ásványi anyagok	n	Átlag	Szórás	Medián	Terjedelem	Minimum	Maximum	Standard hiba	CV%
Fehérje (g/100g)	10	26,59	1,28	26,82	4,15	24,44	28,59	0,40	4,80
Na (mg/100g)	9	8,01	0,55	7,99	1,62	7,19	8,80	0,18	6,83
K (mg/100g)	10	957,09	12,67	962,64	39,79	928,33	968,12	4,01	1,32
Ca (mg/100g)	10	116,06	4,58	118,67	11,91	108,91	120,82	1,45	3,94
Mg (mg/100g)	10	153,63	1,58	153,62	5,32	150,32	155,65	0,50	1,03
P (mg/100g)	10	439,74	13,08	438,74	42,69	418,66	461,35	4,14	2,97
Fe (mg/100g)	10	11,94	1,81	12,45	6,43	7,78	14,21	0,57	15,15*
Cu (mg/100g)	10	1,13	0,12	1,18	0,41	0,84	1,25	0,04	10,96*
Zn (mg/100g)	10	3,82	0,25	3,91	0,78	3,31	4,10	0,08	6,47
Mn (mg/100g)	10	1,86	0,17	1,85	0,56	1,63	2,19	0,05	9,08
S (mg/100g)	10	230,93	20,20	229,54	64,61	194,63	259,23	6,39	8,75

\* közepesen változékonny

A leíró statisztikai elemzése 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 világ vezető agrár és élelmiszerekkel foglalkozó szervezetek adatbázisaiban közölt adatokkal. Az összehasonlítás eredményeit a 6. táblázat tartalmazza.

**6. táblázat:** A világ vezető adatbázisaiban közölt adatok és a mért táp és ásványi anyag mennyiségének összehasonlításának p-értéke (p=0,05)

Táp- és ásványi anyagok	Shapiro-Wilk normalitás vizsgálat P-értéke	Eloszlás	USA (USDA 2019)	Anglia (Roe, és mtsai, 2015)	Ausztrália (FSANZ 2022)	FAO/INFOO DS (FAO 2019)	FAO/INFOO DS (FAO 2012)	India (Longvah , és mtsai, 2017)	FAO/INFOO DS (FAO 2017 a)	FAO/INFOODS ** (FAO 2017 a)**	FAO/INFOODS (FAO 2017 b)***
Fehérje	0,0184	Nem normál	0,550	n.a.	0,000122*	0,00235*	0,000122*	0,000305*	0,599	0,804	0,639
Na	1,855e -05	Nem normál	0,000122*	0,000122*	0,000244*	0,000122*	0,000122*	0,000122*	0,000122*	0,000122*	0,000122*
K	0,895	Normál	5,61e -10*	0,246	1,07919e -09*	1,08e -07*	0,75	1,73004e -09*	0,143	7e -07*	6,89e -07*
Ca	0,403	Normál	1,18e -08*	8,95379e -06*	3,46289e -06*	4,59e -05*	4,34576e-06*	3,29784e -05*	6,80086e-09*	3,6e -08*	0,000274*
Mg	0,307	Normál	1,27e -18*	1,827e -13*	2,9984e -14*	1,33e -07*	9,19102e-13*	1,36243e -14*	6,37704e-16*	3,5e -17*	2,71e -13*
P	0,763	Normál	6,51e -07*	5,38645e -05*	1,52314e -07*	0,468	0,857	4,51057e -08*	0,05	3,04e -06*	4,35e -07*
Fe	0,196	Normál	0,0100*	0,531	0,0157*	0,0382*	0,0226*	0,0173*	0,0103*	0,0242*	0,0409*
Cu	0,0147	Nem normál	0,000122*	0,000122*	n.a.	0,000122*	6,104e-05*	0,0255*	6,104e-05*	6,104e -05*	0,0255*
Zn	0,0584	Normál	0,235	0,847	2,00438e -06*	0,121	0,0532	0,295	0,00166*	0,750	0,643
Mn	0,513	Normál	0,100	0,0405*	n.a.	n.a.	n.a.	0,129	0,0738	0,139	0,366
S	0,525	Normál	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

\*szignifikáns különbség

\*\* Minta azonosító: LEC001\_DM

\*\*\* Minta azonosító: LEC006\_DM

Az összehasonlítás során sok szignifikáns különbséget találtam. A Na, Ca, Mg, Cu szignifikáns különbséget mutatott az USDA, az angliai, az ausztráliai, az összes FAO és az indiai adatbázisokhoz képest. A K, Fe, P mennyisége részben, a Mn mennyisége a legkevésebb 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 elfogadnak tekintetem. A többi adatbázis esetében 2-4 darab vizsgált ásványi anyag vagy fehérje esetében volt hasonlóság, de a legtöbb ásványi anyag mennyisége statisztikai értelemben szignifikáns különbséget mutatott a minták nagyfokú homogenitása ellenére. Az eltérések irányát vizsgálva megállapítható, hogy a mért értékek pozitívak, 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 adatbázisok adataival. Az összehasonlító statisztikai eredményeit a 7. táblázat tartalmazza.

**7. táblázat:** Az észak-amerikai adatbázisokban közölt adatok és a mért táp és ásványi anyag mennyiségének összehasonlításának p-értéke ( $p=0,05$ )

Táp- és ásványi anyag	Shapiro-Wilk normalitás teszt eredménye (P-érték)	Normalitás	Alkalmazott teszt (normalitás függvényében)	Kanadai (CNF 2015)	USA (USDA 2019)
Fehérje	0,2155	Normál	t-teszt	0,17700	0,0850
Na	0,0003	Nem normál	Wilcoxon teszt	0,00909*	0,00909*
K	0,0341	Nem normál	Wilcoxon teszt	0,00909*	0,00195*
Ca	0,0378	Nem normál	Wilcoxon teszt	0,00909*	0,00195*
Mg	0,5889	Normál	t-teszt	2,67e -13*	3,85e -13*
P	0,9516	Normál	t-teszt	1,05e -06*	4,5e -06*
Fe	0,2201	Normál	t-teszt	0,0187*	0,0310*
Cu	0,0665	Normál	t-teszt	0,0177*	0,0417*
Zn	0,2478	Normál	t-teszt	0,0633	0,3520
Mn	0,5147	Normál	t-teszt	0,0275*	0,0850
S	0,7239	Normál	t-teszt	n.a.	n.a.

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.

Mivel a mintákat Magyarországon vásároltam így az adatokat összehasonlítottam a magyar dietetikai tervezés alapjának tekintendő Új Tápanyagtáblázatban közölt adatokkal (Rodler 2005). A statisztikai összehasonlítás eredményét a 8. táblázat tartalmazza.

**8. táblázat:** A magyar adatbázisban közölt adatok és a mért táp- és ásványi anyag mennyiségének összehasonlításának p-értéke (p=0,05)

Táp- és ásványi anyag	p érték
Fehérje	0,0569
Na	0,0020*
K	1,41e-06*
Ca	4,34e-06*
Mg	1,71e-08*
P	0,2479
Fe	0,0051*
Cu	6,104e-05*
Zn	0,1519
Mn	0,1296
S	n.a.

\*szignifikáns különbség

A Na, K, Ca, Fe és Cu mennyiségében szignifikáns különbségek mutattam ki.

Számos tanulmány foglalkozik a lencse ásványianyag-tartalmának meghatározásával és számtalan tényező leírásra került, ami befolyásolja egy növény táp- és ásványianyag-tartalmát. Elsők közt ide sorolható a fajta, a földrajzi termelési hely és a termő év időjárási jellemzői (Chen, és mtsai. 2022). Több tanulmányban beszámoltak arról, hogy a lencse fehérjetartalma fajtánként változik (Ghumman, és mtsai. 2016, Ninou, és mtsai. 2019, Wang és Daun 2006, Mandal, és mtsai. 2018, Huang, és mtsai.

2016). A fehérje mennyiségét genetikai és környezeti hatások is befolyásolják (Sharaan, és mtsai. 2003, Fatima, és mtsai. 2018). A szerves és szervetlen nitrogénműtrágyák pozitív hatást mutatnak a lencsehozamra és a fehérje mennyiségére (Zeidan 2007). A talaj összetétele is jelentősen befolyásolja a tápanyagok mennyiségét a terményben (Ansari és Jha 2002). A fenti felsorolás alapján számos külső hatás és tényező befolyásolja a fehérje és elemtartalom mennyiségét a növényben.

Vizsgálataim során jelentős különbségeket 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. A mérési eredményeim 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 étrendi ajánlásokat kidolgozni.

A kimutatott különbségeknek gyakorlati jelentősége, hogy a magyarországi dietetikai tervezés alapját képező adatokhoz képesti eltérés már téves tervezést és hamis tápanyag összetételt fog eredményezni. Az Amerikai Egyesült Államokban az Egészségügyi és Humánszolgáltatási Minisztériuma által ajánlott diétás tervezés alapja az étrendi referenciabevitel a DRI-t (IM 2000). A DRI-t a Nemzeti Tudományos, Mérnöki és Orvostudományi Akadémiák Élelmiszer- és Táplálkozási Tanácsa (USA) adja ki. Az Élelmiszer- és Táplálkozási Tanács foglalkozik az élelmiszerellátás biztonságával, minőségével és megfelelőségével kapcsolatos kérdésekkel. Megállapítja a megfelelő étrendi bevitel elveit, iránymutatásokat alkot, és hitelesnek tekintendő információkat közöl az élelmiszerbevitel, a táplálkozás és az egészség közötti kapcsolatokról. A DRI egy általános kifejezés az egészséges emberek tápanyagbevitelének tervezésére és értékelésére használt referenciakészletre. Ez magában foglalja az ajánlott étrendi támogatást (RDA), ami az átlagos napi beviteli mennyiség, amely elegendő ahhoz, hogy

szinte minden egészséges ember (97–98%) táplálkozási igényeit kielégítse. Meghatározza a megfelelő bevitel mennyiségét (AI) ami feltételezhetően biztosítja a megfelelő táplálkozást és meghatározza a becsült átlagos szükségletet (EAR) mennyiségét, ami az egészséges emberek 50%-ának megfelelő átlagos napi szükséglete és a tolerálható felső határra (UL) is kitér (Institute of Medicine (USA) 2000). A megfelelő szintű étrendtervezés meglehetősen összetett folyamat, amely számos tényezőt vesz figyelembe. A tervezéshez ajánlott DRI táblázatok pontos  $\mu\text{g}$  és  $\text{mg}$  mennyiségű biztosítandó igényeket határoznak meg korosztály és egyéb biológiai jellemzők szerint (National Academies 2019). A tervezés további lépéseként ismerni kell az élelmiszerek táp- és ásványianyag-tartalmát. Az Egyesült Államok Egészségügyi és Humán szolgáltatási Minisztériuma az Egyesült Államok Mezőgazdasági Minisztériumának az Élelmiszeradat Központjának adattábláit ajánlja a dietetikai tervezés végzéséhez, azokat az adattáblákat, amelyekkel összehasonlítottam saját mérési eredményeimet és szignifikáns eltéréseket tapasztaltam még az Észak-Amerikából származó minták esetében is. 2007-ben Padovani és munkatársai adatbázis-összehasonlító tanulmányt végeztek, amelyben megállapították, hogy az egyik országból származó élelmiszer összetételre vonatkozó adatok felhasználását korlátozza az élelmiszerek egyenértékűségének hiánya. Az adott élelmiszer összetételének genetikai és környezeti változatossága miatt, még az azonosnak tekinthető élelmiszerek esetében és különösen a mikrotápanyagok esetében megkérdőjelezhető (Padovani, és mtsai. 2007). A fentieket méréseim alátámasztották és elfogadva tovább szűkítve az elemzés körét csak a saját termelő országra és adatbázisára, vagy mint Magyarországon vásárolt termék a magyarországi adatokra is többségében szignifikáns különbségeket tapasztaltam, ami az adatbázisok frissítését teszi időszerűvé. A referencia adatok és a valóságban mért értékek közt a különbséget még fokozza, hogy a feldolgozási módszerek befolyásolják az összetételt és a funkcionális tulajdonságokat (Dhull, Kinabo és Uebersax 2023).

Az eredményt értékelve megállapítható, hogy a követelményként elvárt táp- és elemtartalom statisztikai azonossága nem teljesül.

#### 4.1.2. Burgonya

A burgonya a katonai táplálkozásban, széles körben jelen van. Elfogadott, kedvelt köret és leveszöldség, de megjelenik az élelmiszerek főalkotójaként is. Számtalan formában fogyasztásra kerül. A burgonya hozzátartozik magyar gasztronómiához és fontos részt képez az ételintoleranciával rendelkezők táplálásának, azonban a kereskedelmi forgalomban megjelenő termékekben por, püré vagy kis méretben van jelen. Fagyasztva szárított állapotban fajtánként eltérő tulajdonsággal rendelkezik. A változók kapcsolati rendszerének meghatározásához tápanyagvizsgálatokat végeztem melyek eredmények az alábbiak:

**9. táblázat:** A vizsgált burgonyafajták tápanyagtartalma

Fajta	Száraz- anyag (g/100g)	Fehérje (g/100g)	Keményítő (g/100g)	Redukáló cukor (g/100g)	Fehérje a szárazanyagban (g/100g)	Keményítő a szárazanyagban (g/100g)	Redukálócukor a szárazanyagban (g/100g)
14.21.	21,30	2,20	13,70	0,349	10,33	64,32	1,64
Arany chipke	23,10	2,73	14,90	0,100	11,82	64,50	0,43
Balatoni rózsa	22,10	2,34	13,20	0,200	10,59	59,73	0,90
Balatoni sárga	16,50	2,04	9,65	0,622	12,36	58,48	3,77
Basa	21,30	1,97	13,10	0,484	9,25	61,50	2,27
Démon	23,10	2,51	14,80	0,282	10,87	64,07	1,22
Golden river	20,20	2,45	13,20	0,340	12,13	65,35	1,68
Hópehely	20,20	1,73	12,90	0,960	8,56	63,86	4,77
Somogyi kifli	22,40	3,01	12,30	0,141	13,44	54,91	0,63

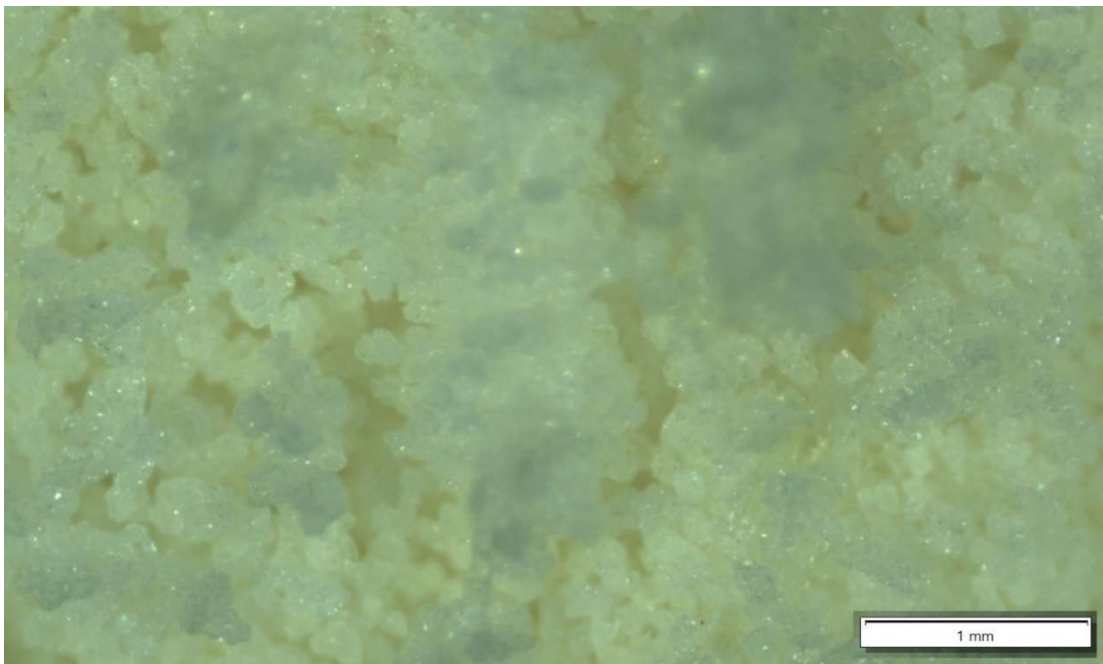
**10. táblázat:** A vizsgált burgonyafajták tápanyagtartalmának statisztikai értékelése

Leíróstatisztikai értékelés	Száraz- anyag (g/100g)	Fehérje (g/100g)	Keményítő (g/100g)	Redukáló cukor (g/100g)	Fehérje a szárazanyagban (g/100g)	Keményítő a szárazanyagban (g/100g)	Redukálócukor a szárazanyagban (g/100g)
Átlag	21,13	2,33	13,08	0,39	11,04	61,86	1,92
Standard hiba	0,68	0,13	0,52	0,09	0,52	1,17	0,49
Medián	21,30	2,34	13,20	0,34	10,87	63,86	1,64
Szórás	2,05	0,40	1,55	0,27	1,56	3,51	1,47
Minta varianciája	4,19	0,16	2,39	0,07	2,42	12,31	2,15
Tartomány	6,60	1,28	5,25	0,86	4,88	10,44	4,34
Minimum	16,50	1,73	9,65	0,10	8,56	54,91	0,43
Maximum	23,10	3,01	14,90	0,96	13,44	65,35	4,77
Variációs koefficiens	9,69	17,02	11,81	70,15	14,10	5,67	76,28

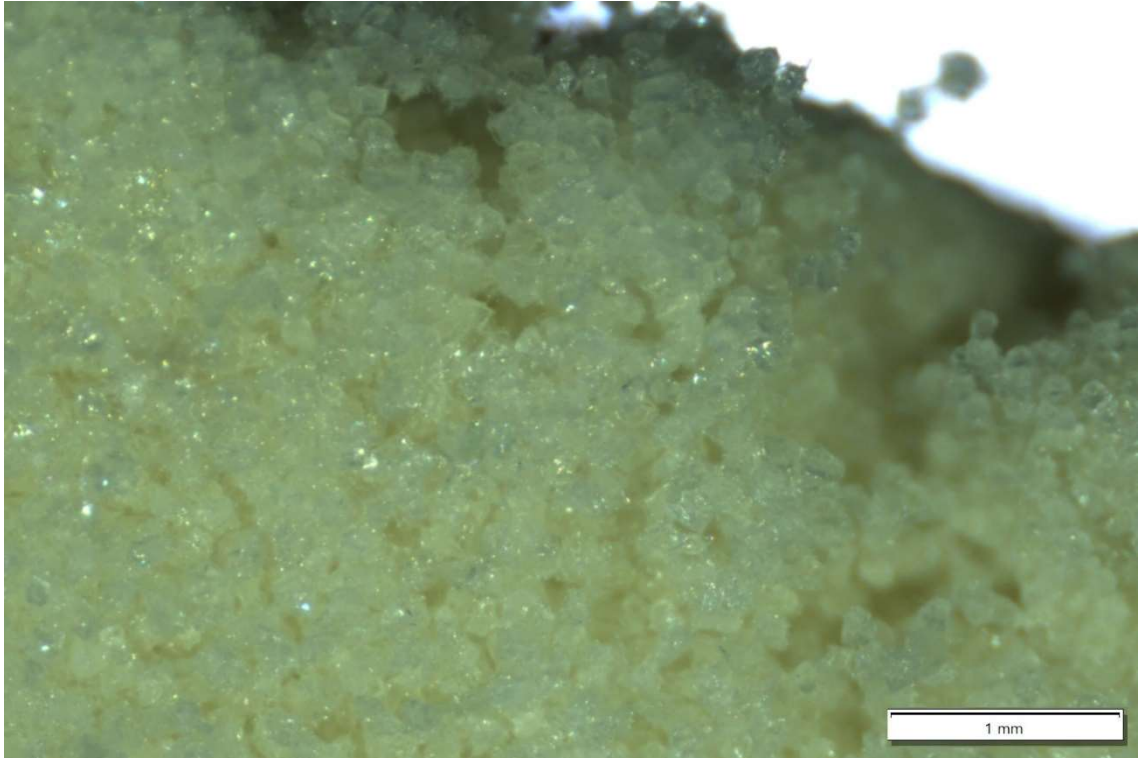
Az adatok értékelése a kapott tápanyag és statisztikai eredményeket értékelve megfeleltek a különböző fajtaleírásokban szereplő mennyiségeknek, ezért a méréseket elfogadtam.

#### 4.2. Digitális képelemzés

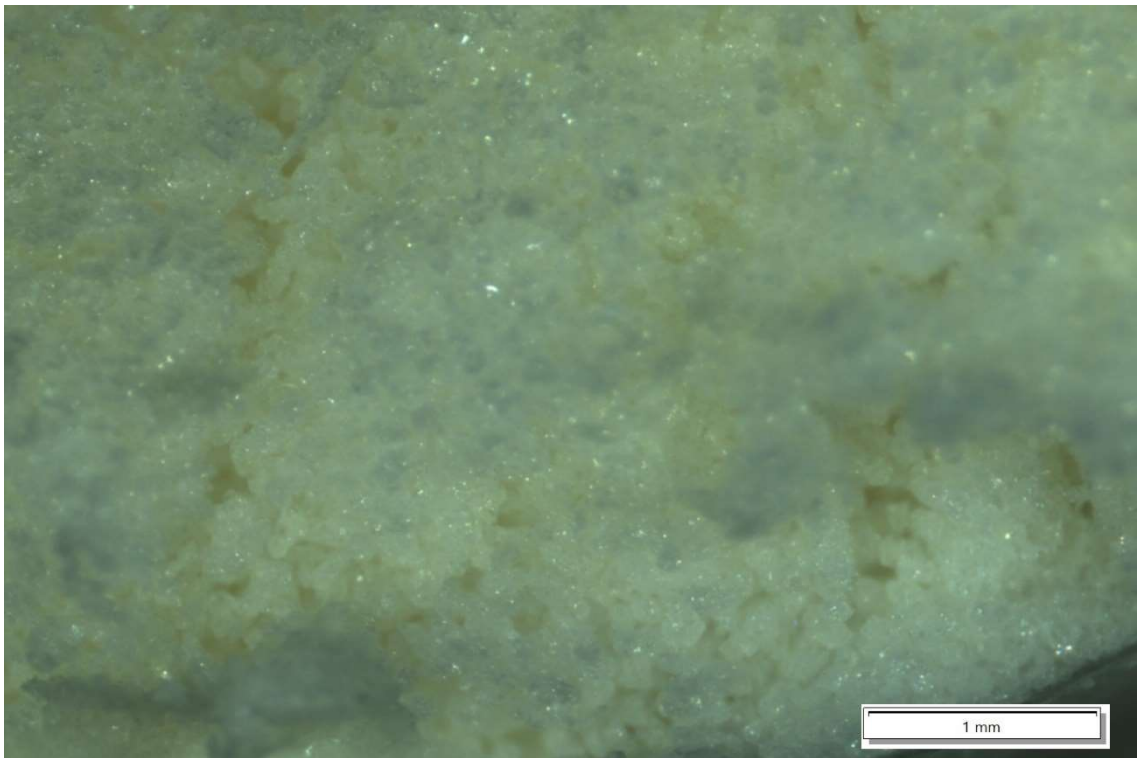
Az előző fejezetben részletezett változók széleskörű megállapítása és a kapcsolati rendszerének molekuláris szintű feltárása érdekében mikroszkópos felvételeket készítettem és digitálisan elemeztem. A vizsgált fagyasztva szárított burgonya fajták és fajta jelöltek felvételeit a 17-25. ábra tartalmazza.



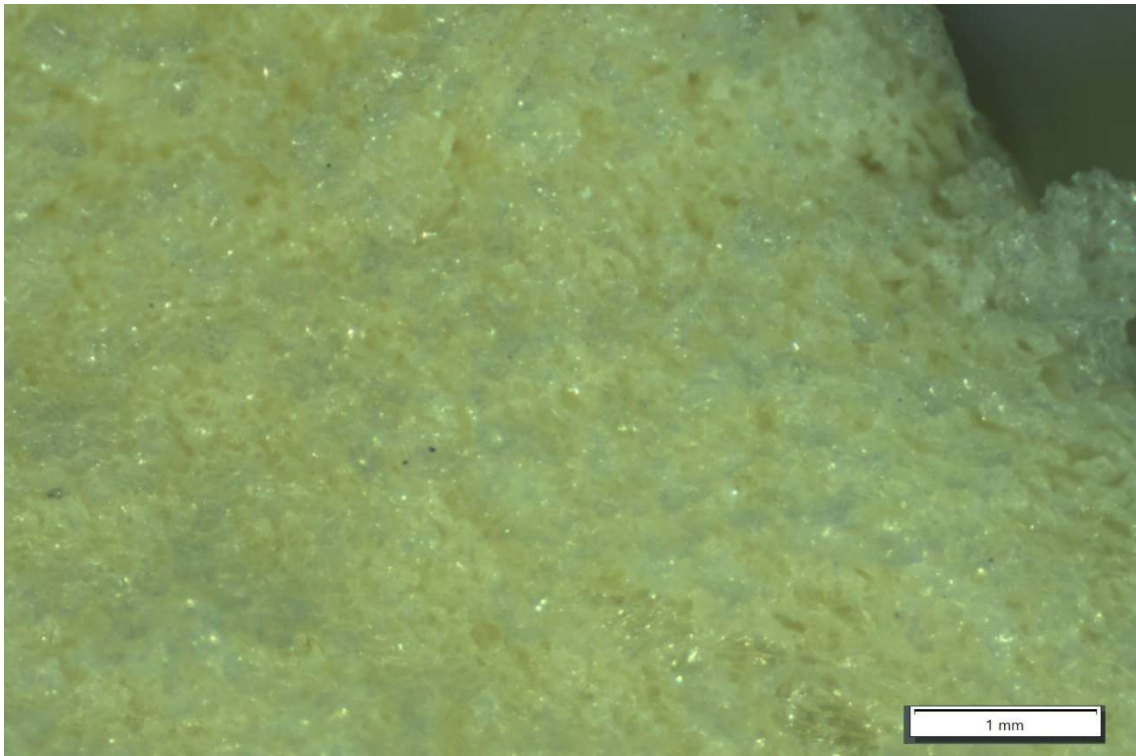
**17. ábra** 14.21. fajtajelölt főtt burgonya fagyasztva szárított állapotban



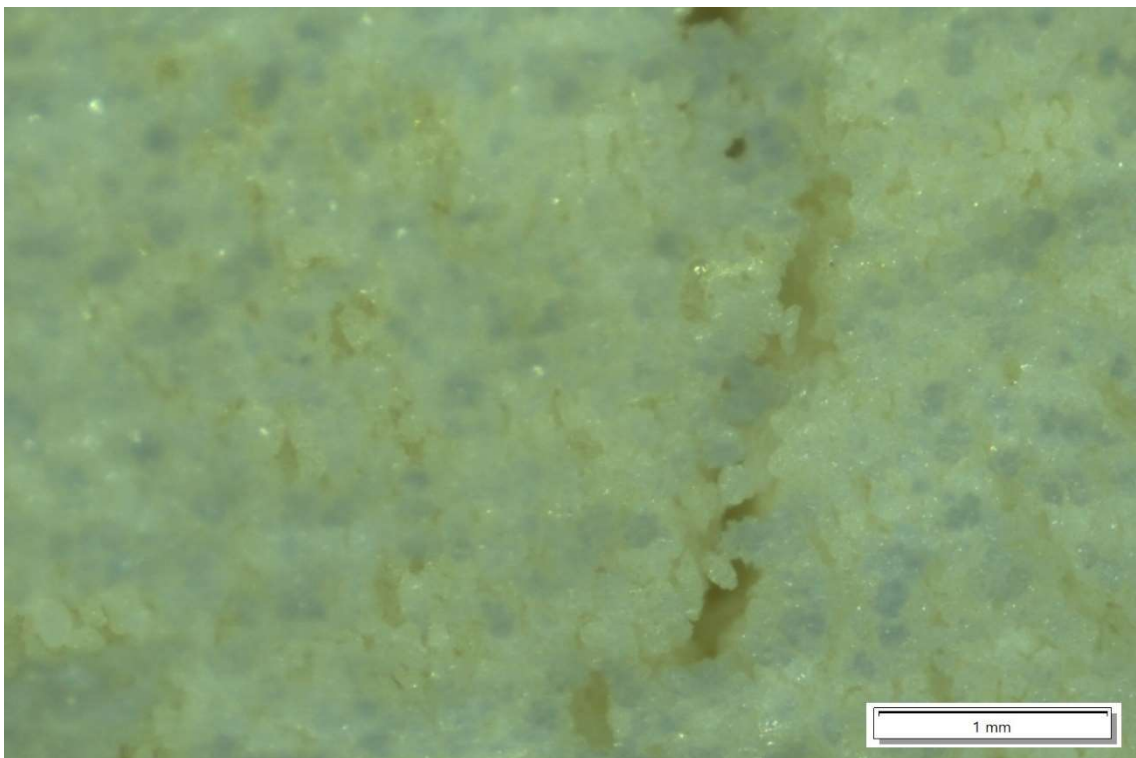
**18. ábra** Arany chipke fajtájú főtt burgonya fagyasztva szárított állapotban



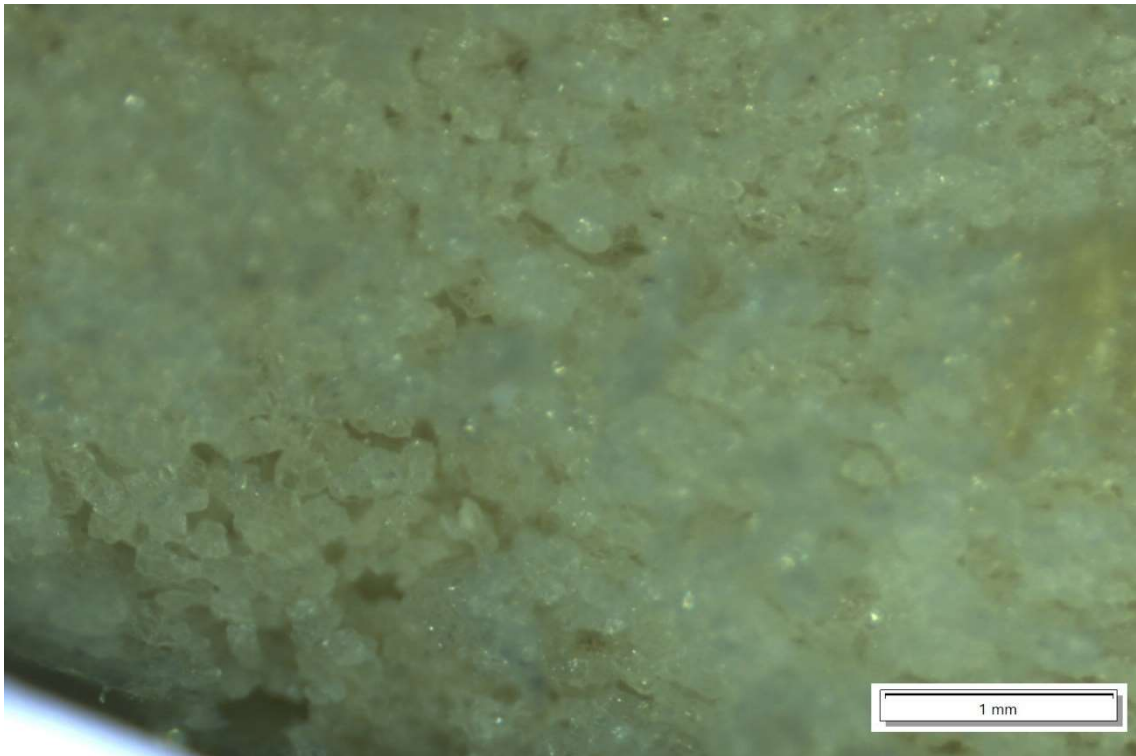
**19. ábra** Balatoni rózsza fajtájú főtt burgonya fagyasztva szárított állapotban



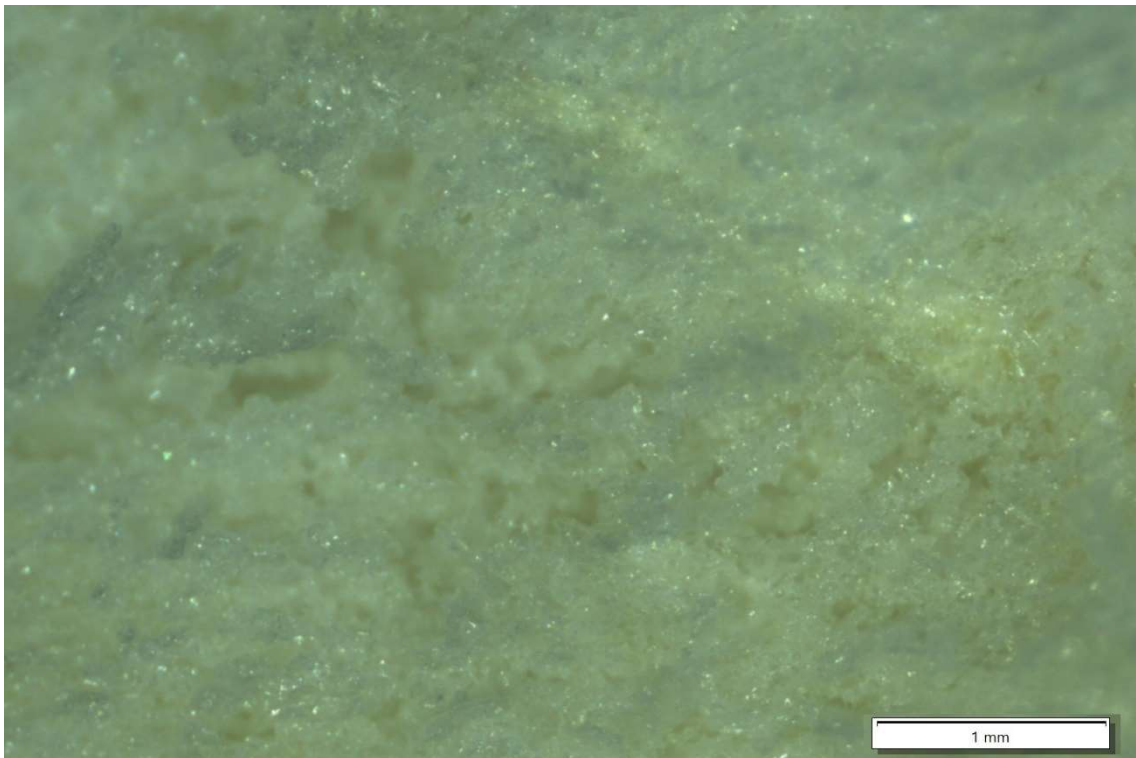
**20. ábra** Balatoni sárga fajtajelölt főtt burgonya fagyasztva szárított állapotban



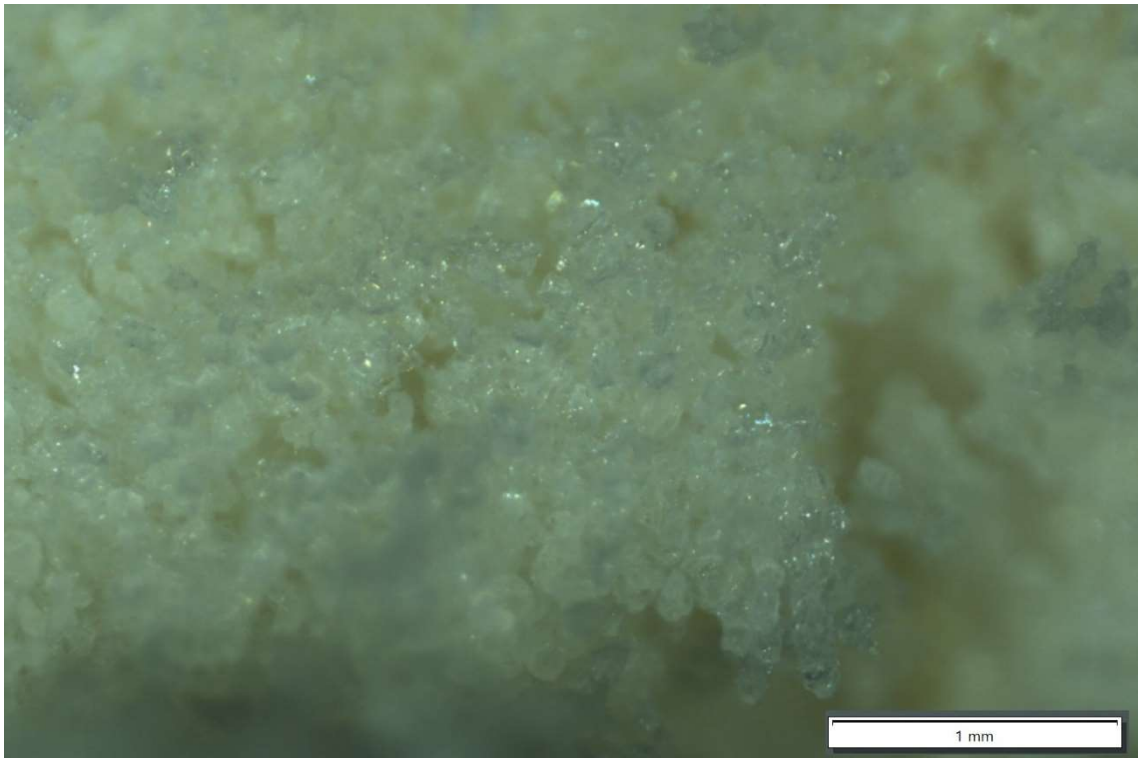
**21. ábra** Basa fajtájú főtt burgonya fagyasztva szárított állapotban



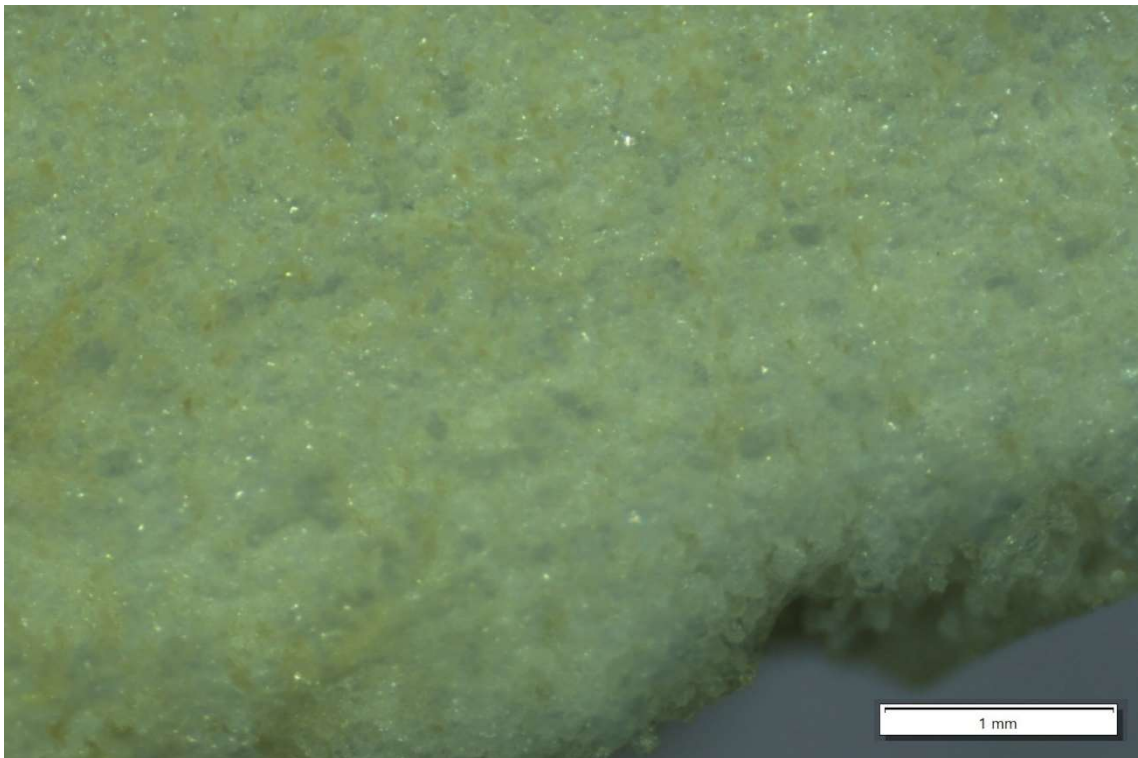
**22. ábra** Démon fajtájú főtt burgonya fagyasztva szárított állapotban



**23. ábra** Golden river fajtajelölt főtt burgonya fagyasztva szárított állapotban



**24. ábra** Hópehely fajtájú főtt burgonya fagyasztva szárított állapotban



**25. ábra** Somogyi kifli fajtájú főtt burgonya fagyasztva szárított állapotban

A felvételeket megfigyelhető, hogy a burgonya fajták és fajtajelöltek eltérő felületi jellemzőkkel és eltérő kristályosodott keményítőszemcse mérettel rendelkeznek. A főzési folyamat során a burgonyában lévő keményítő zselatinizáción megy keresztül, ami nyomást gyakorol a sejtekben és kitágul. A burgonya textúráját a sejtekben lévő zselatinizált keményítő mennyisége határozza meg. A lisztes burgonyának száraz és szemcsés szerkezetű, míg a viaszos burgonyának nedves és gumyszerű lesz a textúrája. A zselatinosabb keményítővel rendelkező sejtek lisztes állagúak, míg a kevesebb keményítőt és több vizet tartalmazó sejtek viaszos állagúak lesznek (Martens és Thybo 2000), ez a változás látható pl. az Arany chipke szemcsés lisztes felületű, míg a Somogyi kifli viaszosabb felületű a felvételeken. Ami a méretek alapján változóként látható, a kristályosodott keményítőszemcsék nagysága ezért megmértem a szemcsék látható felületének a 2D területét. 10 mérést végeztem, az eredményekből matematikai átlagot számoltam. A mérések eredményeit a 11. táblázat tartalmazza. Méréseim során törekedtem azon keményítőszemcsék kiválasztása melyek felülete szabadon látszott, nem volt takarásban.

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

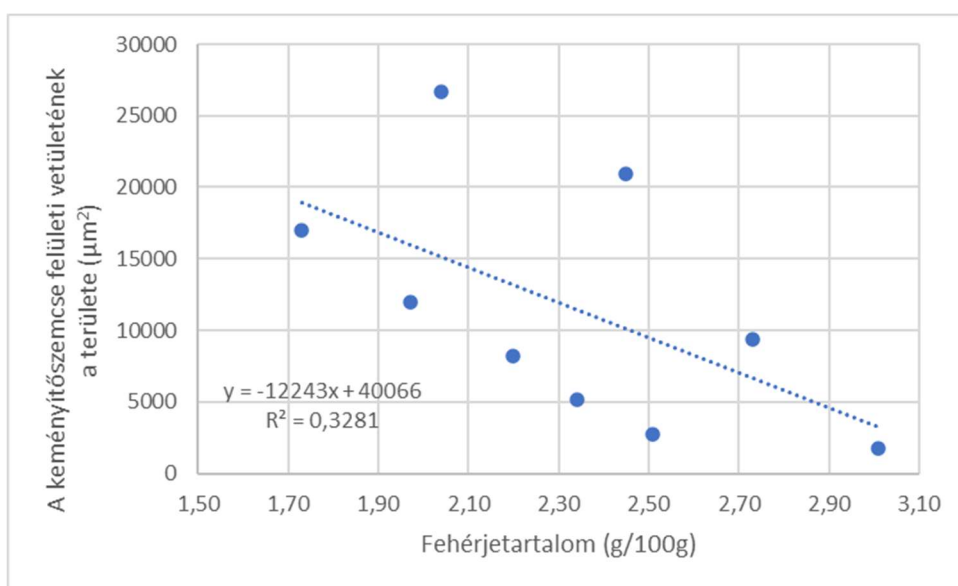
Fajta/ fajta jelölt	Terület ( $\mu\text{m}^2$ )
Somogyi kifli	1 737,04
Démon	2 729,72
Balaton Rózsa	5 194,15
14.21.	8 174,22
Arany chipke	9 407,26
Basa	11 938,24
Hópehely	17 032,35
Golden river	20 896,01
Balatoni Sárga	26 635,21

A fagyasztva szárított burgonya minták keményítő szemcséjének méretét korreláció analízis módszerrel összehasonlítottam a burgonya tápérték tartalmával. Az eredményeket (r) a 12. táblázat tartalmazza:

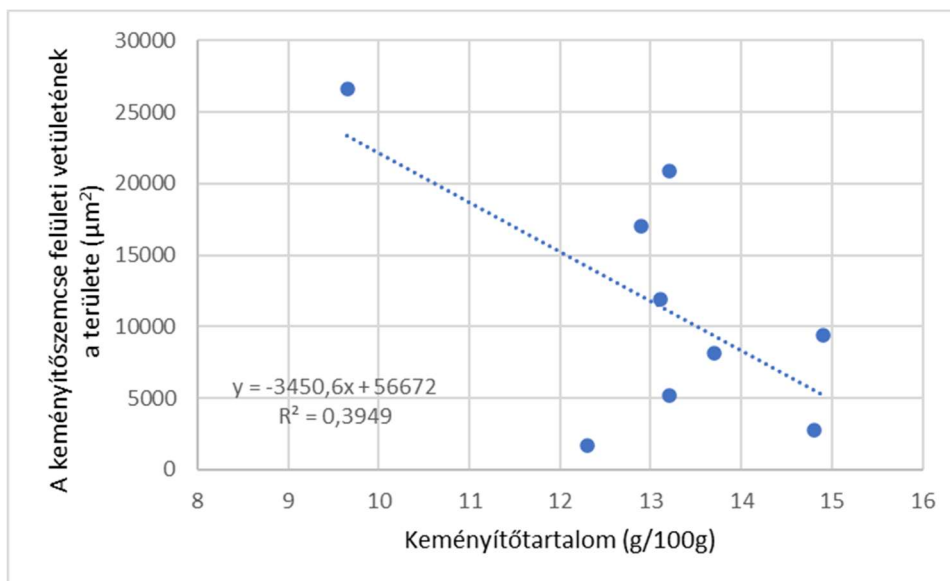
**12. táblázat:** A fagyasztva szárított burgonya keményítőjének mérete és a tápanyagtartalma közötti korreláció (p=0,05)

Anyag	Korreláció
Száranyag (g/100g)	-0,895
Fehérje (g/100g)	-0,573
Keményítő (g/100g)	-0,628
Redukáló cukor (g/100g)	0,629
Fehérje száraz anyagra (g/100g)	-0,024
Keményítő száraz anyagra (g/100g)	0,171
Redukáló cukor száraz anyagra (g/100g)	0,712

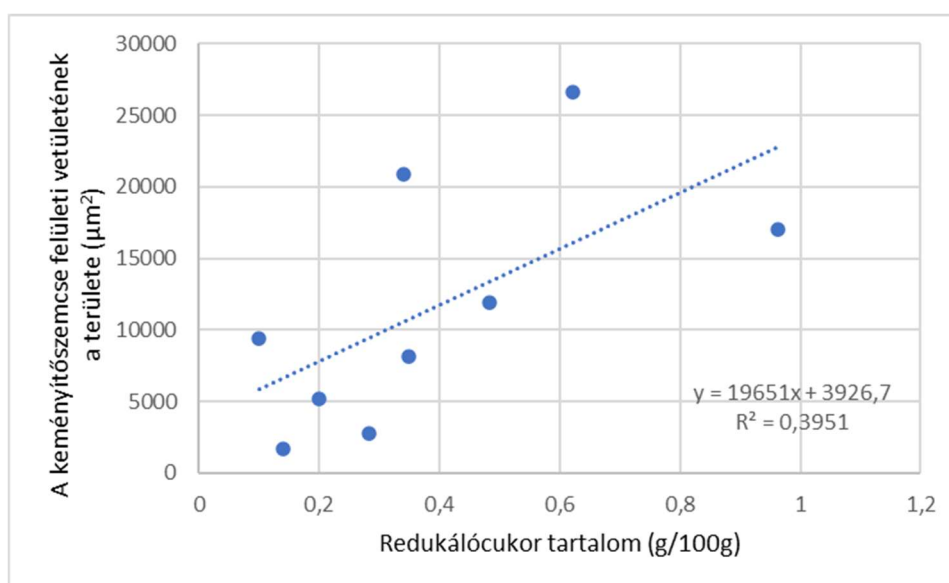
A fagyasztva szárított burgonya keményítő szemcséjének a mérete és fehérje tartalma közt az r érték -0,573 (26. ábra) és keményítő tartalma közt -0,628 (27. ábra), ami statisztikai értelemben közepes korreláció, jelentős kapcsolatra utal.



**26. ábra** Fagyasztva szárított burgonya keményítő méretének és fehérje tartalmának kapcsolata

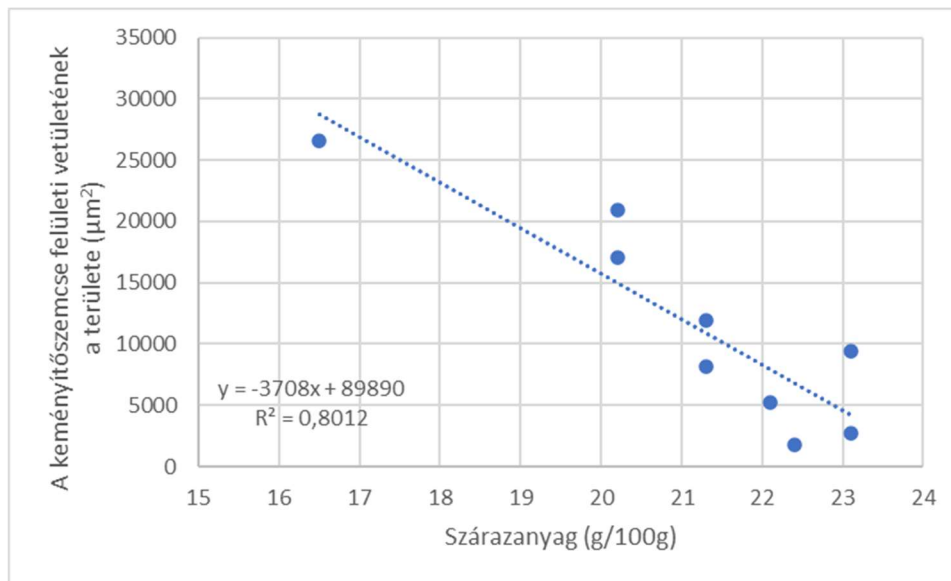


**27. ábra** Fagyasztva szárított burgonya keményítő méretének és keményítő tartalmának kapcsolata



**28. ábra** Fagyasztva szárított burgonya keményítő méretének és redukáló cukor tartalmának kapcsolata

A nyers burgonya szárazanyagtartalma és a keményítő szemcse mérete közt az  $r$  értéke  $-0,895$ , ami magas korrelációt, markáns kapcsolatra utal a változók közt. A korrelációról készült diagrammokat a 29. ábra tartalmazza.



**29. ábra** Fagyasztva szárított burgonya keményítő méretének és szárazanyag mennyiségének kapcsolata

A burgonyakeményítő mérete 10-110 μm, átlagosan 40-50 μm között van. (Chung, és mtsai. 2014). A keményítőszemcsék összetételében, szerkezetében és méreteiben mutatkozó különbségek hatással vannak az élelmiszerekben mutatott funkcionális tulajdonságára, beleértve a duzzadást, a kocsonyásodást, a retrogradációt, a folyóképességet, az emészthetőséget, a sütési tulajdonságokat és a kémiai módosításra való hajlamukat (Li, és mtsai. 2023).

A keményítő fizikai-kémiai tulajdonságai és funkcionális teljesítménye több tényező is befolyásolja ideértve az amilóz és az amilopektin szerkezeti felépítését a keményítőszemcsékben (Vamadevan és Bertoft 2015). Ez függ a burgonya fajtájától, érettségtől és a növekedési körülményektől (Copeland, és mtsai. 2009). A keményítőszemcsék kémiai összetétele és szerkezeti felépítése jelentősen változik a szemcsemérettel (Cai, és mtsai. 2014). Szemcseméret szerint a kis méretű szemcsékben alacsonyabb az amilóz tartalom és magasabb a lipid-, fehérje- és ásványianyag-tartalom, illetve kisebb méretű a kristályszerkezet, mint a nagyméretű szemcsékben (Dhital, és mtsai. 2011). A térbeli elhelyezkedéstől is függ, mert az amilóz molekula a nagyobb keményítőszemcsék perifériáján koncentrálódik (Pan és Jane 2000, Chen, és mtsai. 2022). Az egyes burgonyagumók keményítőszemcséi között több mint 10-szeres hosszúságkülönbség lehet (Zhang és mtsai. 2011), ami megegyezik az általam mért értékek fajtankénti eltéréseivel. A keményítőszemcse mérete továbbá függ a termesztés

helyének termesztés alatti hőmérséklettől, amennyiben a gumók növekedéséhez szükséges alacsonyabb a hőmérséklet akkor keményítőszemcsék nagyobb nagyságúak lesznek (Kaur és mtsai. 2007). Lu és munkatársai főkomponens elemzés alapján a burgonyafajták a termesztési helyszín szerint csoportosították, és a keményítő foszfortartalma volt a legfőbb eltérés (Lu és mtsai. 2011). A keményítő P tartalma függ a termesztés hőmérsékletétől. Üvegházban nem fűtött körülmények között termesztett gumók keményítőszemcséinek P tartalma szignifikánsan magasabb, mint a fűtött üvegházban termesztett gumók keményítőszemcséinek P tartalma (Cottrell 1995). A P az amilopektin molekulákban lévő kovalens kötésű foszfát formájában mindenütt jelen van a gyökér- és gumós növényekből izolált keményítőiben (Noda 2007). Šimková és munkatársai 2013-ban végzett vizsgálataik során különböző burgonyafajták keményítőjében a P és az amilóz mennyisége közt jelentős negatív korrelációt tapasztaltak ( $r = -0,7050$ ) amelyből a kutatók arra következtettek, hogy az amilopektin arányával pozitív a korreláltság. Ezt az összefüggést megerősíti Noda és munkatársai 2007-ben végzett mérések miszerint az alacsony P tartalmú burgonyagumókban volt a legnagyobb az amilóz mennyisége és a legnagyobb P tartalmú burgonyagumókban pedig a legalacsonyabb, továbbá a burgonya keményítő duzzadási képessége  $70^{\circ}\text{C}$ -on szignifikánsan nagyobb a magas P tartalommal rendelkező fajták esetében, tehát a magasabb amilopektin tartalommal rendelkező fajták esetében. Zhang és munkatársai 2011-ben végzett vizsgálataik során megállapították, hogy a szárazanyagtartalom, a hozam és a keményítő szemcsemérete közt összefüggés van. A magas szárazanyagtartalmú burgonya keményítőszemcséi általában nagyok, míg az alacsony szárazanyagtartalmú (vagy magas víztartalmú) gumók kisebb keményítőszemcséket tartalmaznak.

Az általam vizsgált burgonya főtt állapotba került fagyasztva szárításra ezért a keményítőszemcse duzzadási képességének nagy hatása van a kialakult fagyasztva szárítás utáni méretre. Vamadevan és Bertoft 17 féle natív (gabona, rizs, burgonya) keményítőre kiterjedő vizsgálataik során megállapították, hogy a burgonya keményítője duzzadási képessége a legnagyobb. A duzzadási képesség pozitív kapcsolatot mutatott az amilopektin mennyiségével, amit az amilóz mennyisége csökkentett és mennyisége megakadályozta a szemcse szétesését (Vamadevan és Bertoft 2020). Ennek az amilóz és az amilopektin térbeli szerkezete az oka, mert az amilóz egyenes láncokat alkot, míg az amilopektin a tér minden irányába kiterjedő elágazásokat tartalmaz, ami egy rugalmas

szerkezetet eredményez (Bertoft 2017). Gomley 1998-ban végzett mérései szerint az amilóz és a szárazanyag korrelációja -0,77. A fenti szakirodalmi adatok alapján az általam mért főtt fagyasztva szárított keményítőszemcse mérete és a szárazanyag közti statisztikailag erős ( $R^2=0,801$ ) negatív előjelű korreláció nagy valószínűséggel a keményítőszemcsekben jelenlevő, nagy duzzadó képességű amilopektin mennyiségére utal. A redukáló cukor jelenlétének főzési hőmérsékleten inkább táplálkozás tudományi jelentősége van, mint technológiai. A feldolgozás során a magas redukáló cukor tartalommal rendelkező fajták barnulnak, ami a sütési hőmérsékletre jellemző, de főzés során 120°C-on is már megjelenik. Oka, hogy a jelenlevő redukáló cukor és aszparaginsavból megkezdődik az akrilamid képződik, ami a Világ Egészségügyi Szervezetének, Nemzetközi Rákkutató Ügynöksége besorolása alapján 2A karcinogén anyagnak minősített vegyület (Jayanty és mtsai. 2019).

A szakirodalmi adatokat és méréseim értékelve a keményítőszemcsek főtt és fagyasztva szárított állapotban levő méretbeli különbségét az eltérő amilóz és amilopektin mennyisége okozta. A legkisebb keményítőszemcse mérettel rendelkező Somogyi kifli a szakirodalmi leírások alapján valószínű magas amilóz tartalmú fajta míg a Balatoni sárga magas amilopektin tartalmú fajta.

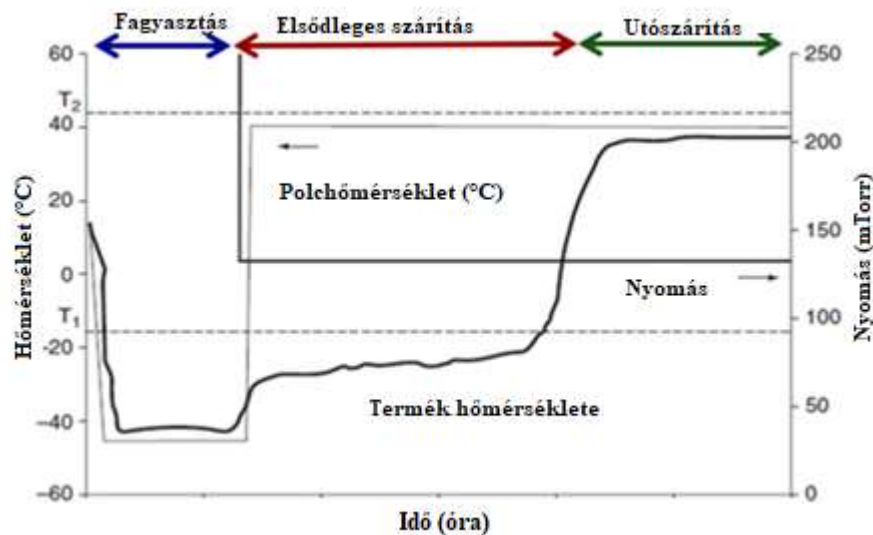
### 4.3. Vízkaktivitás és oxidáció

A vízkaktivitás mérésekkel kapcsolatos adatokat és eredményeket a 13. táblázat tartalmazza:

**13. táblázat:** Fagyasztva szárított élelmiszerek felett zárt térben mért egyensúlyi relatív páratartalom (ERP%) nagysága és az adatokból kalkulált vízkaktivitás értéke

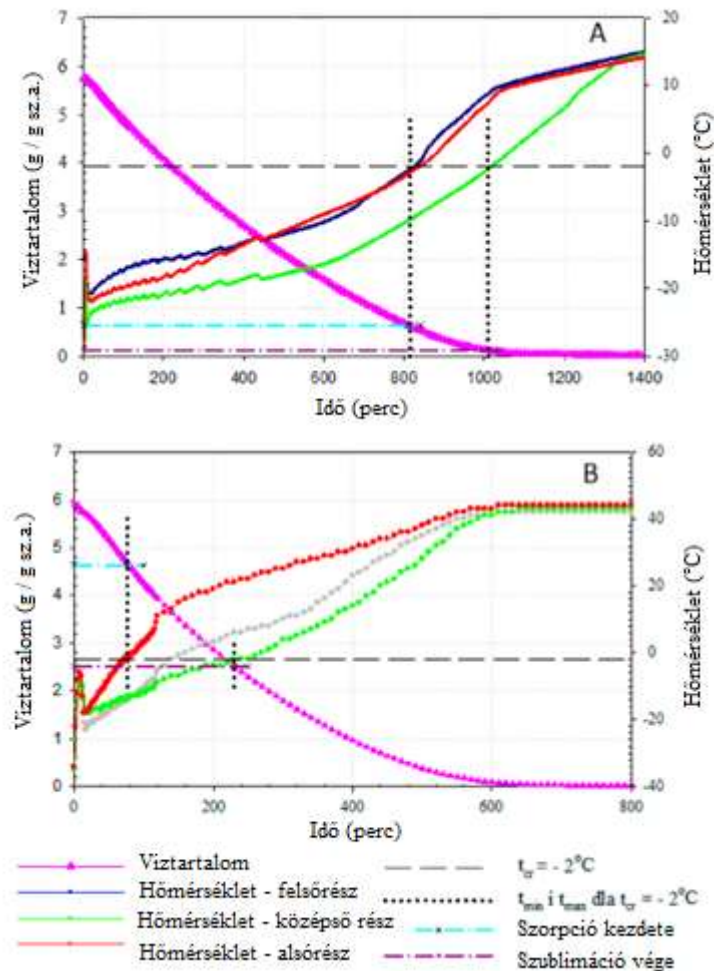
Anyag	Mérési hőmérséklet (°C)	ERP%	ERP% 25°C-ra	$a_w$
Sertéskaraj	22,1	12,0	~10	0,1
Sertéspörkölt	22,2	12,1	~10	0,1
Főtt burgonya	22,1	12,1	~10	0,1
Főtt burgonya	22,1	12,1	~10	0,1
Főtt rizs	22,0	12,0	~10	0,1
Spagetti szósz	22,1	12,1	~10	0,1
Főtt tészta	22,2	12,0	~10	0,1

A Mollier féle h-x diagramm használata során a tizedes pontosság nehezen kezelhető ezért a diagramról leolvasott relatív páratartalom értékét egész értékre adtam meg. Tekintettel a rendkívül alacsony vízakktivitás értékére az eredményeimet felülvizsgáltam és összevettem más szerzők fagyasztva szárított termékek esetében mért vízakktivitás értékével. A fagyasztva szárítás eljárás hosszát és körülményeit Ratti leírása alapján határoztam meg melyeket a 30. ábra szemléltet.



**30. ábra** A víz fázisdiagramja és a termék hőmérsékletének profija fagyasztva szárítás során

Az eljárás végpontja a 42°C eléréséig tartott, de legalább 24 óra hosszát. A minták hőmérsékletét a fagyasztva szárítás során beépített maghőmérővel mértem. A 30. ábra alapján a 42°C maghőmérséklet elérésekor nem léptem át az üvegesedési hőmérséklet határát. Az általam használt paraméterek elegendőek voltak az összes nedvesség eltávolításához és az utószárítási művelet elvégzéséhez, ami Ratti 2013-ban készített mérései alátámasztanak, míg a másodlagos szárítás megtörténtét megerősítik Nowak 2017-ben végzett kutatásának eredményei. Ez utóbbi szerző fagyasztva szárított almaszeleteken végzett vizsgálatait során mérte a nedvességtartalmat a termék felső, középső és alsó részének hőmérsékletét állandó 63 Pa nyomáson. A méréseiről készült diagramm a 31. ábrán látható.

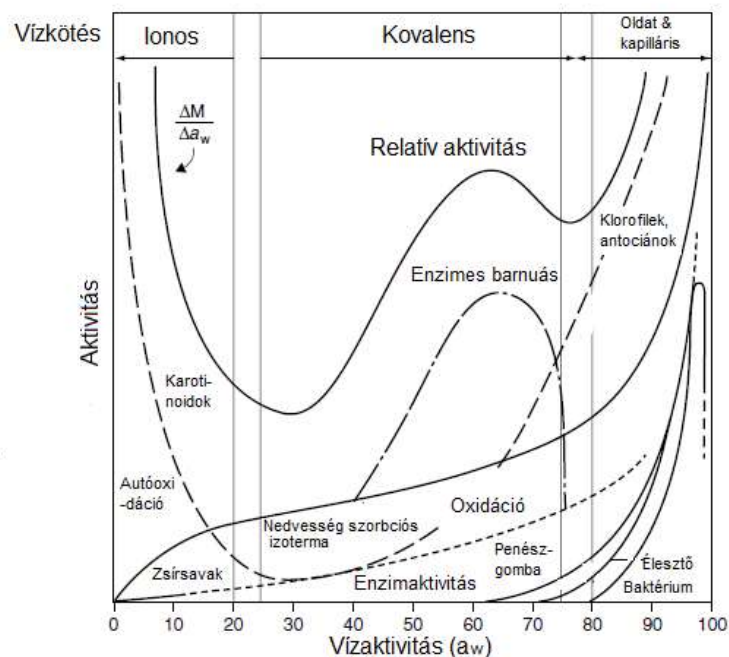


**31. ábra** A víztartalom és az anyaghőmérséklet változásainak kinetikája (Nowak 2017).

A fenti diagrammon látható, hogy 40°C felett már a víztartalom gyakorlatilag nullával egyenértékű. Az eredményeimhez feltehetően az is hozzájárult, hogy az elkészített élelmiszereket fagyasztva szárítás után a lehető legrövidebb időn belül vákuumsomagoltam, majd a vízaktivitást néhány napon belül mértem. Más szerzők vizsgálataik során az alábbi vízaktivitás értékeket mértek: sárkánygyümölcs 0,08-0,19 (Mawilai és mtsai. 2017), alma 0,14 (Djekic, és mtsai. 2018), hidrokolloid zselé 0,14-0,33 (Ciurzyńska és Lenart 2016), egész tojáspor 0,17 és tojásfehérje 0,26 (Obara, és mtsai. 2006), csirkemell 0,13-0,27 (Cantalejo, és mtsai. 2016).

Összességében a mérésre használt szonda kalibrálási eljárása, a Ratti 2013-ban és Nowak 2017-ben közölt hőmérsékleti profilra vonatkozó diagrammok és a szakirodalomban fellelhető közölt adatok alapján elfogadtam a kapott alacsony vízaktivitás értékeket.

Fontos megemlíteni a gőznyomás különbségből eredő abszorpciós tulajdonság változását. Az egyrétegű határrétegaszorpciós értéke levezethető a Brunauer–Emmett–Teller (BET) izoterm egyenletből, ami általánosságban  $0,05-0,5 a_w$  érték közt és  $25^\circ\text{C}$ -ra érvényes. Az általánosság ellenére az egyrétegű határérték általában  $0,2-0,4$  vízkötés körül alakul ki (Labuza 1984). Élelmiszerek esetében az egyrétegű BET értékek rendszeresen eltérnek  $0,01$  és  $0,14 a_w$  körülmény közt. A keményítő, a fehérje és az agarhoz hasonló makromolekulák általában magasabb BET egyrétegű értékkel rendelkeznek míg a zsírban gazdag ételek általában alacsonyabb értéket rendelkeznek. Élelmiszerek esetében a határréteg abszorpció meghatározására a Guggenheim–Anderson–De Boer modell alkalmazása szélesebb körben elfogadott (Rahman 2020). A nedvesség abszorpciós izoterma rendkívül fontos az élelmiszer stabilitásának és eltarthatóságának előrejelzésében. A legtöbb élelmiszer esetében van egy kritikus nedvességtartalom, amely alatt a minőségromlás mértéke elhanyagolható, de bizonyos biokémia folyamatok felerősödhetnek. A vízkötés mértéke hatással van a mikrobiológiai aktivitáson túl a biokémiai romlási folyamatokra is. Ezen folyamatokat összefoglalva a 32. ábra tartalmazza.



**32. ábra** Élelmiszer stabilitás a vízkötés függvényében (Rockland és Beuchat 1987)

A megbetegedést okozó mikroorganizmusok 0,85–0,86 vízaktivitás alatt nem tudnak növekedni. Az élesztők és penészgombák elviselik a 0,80-as vízaktivitást, de általánosságban nem történik aktivitás 0,62 vízaktivitás érték alatt (Chirife és Buera 1994). NaCl oldatban a növekedéshez szükséges minimális vízaktivitás patogén mikroorganizmusok esetében a következők: *Listeria monocytogenes*: 0,92, *Clostridium botulinum*G: 0,97, *Clostridium botulinum*E: 0,97, *Clostridium perfringens*: 0,95, *Staphylococcus aureus*: 0,86 (Chirife 1994). A toxintermelő penészgombák közül a legalacsonyabb  $a_w$ -on még aktív az ochratoxint termelő *Aspergillus ochraceus*, a toxintermelésének minimális értéke 0,83–0,87  $a_w$  közt van és 0,77-0,83  $a_w$  közt növekszik. A penicillint termelő *Penicillium ochraceus* toxintermelésének minimális értéke 0,80–0,88  $a_w$  és 0,76-0,81  $a_w$  közt növekszik (Beuchat 1981). A baktériumok közül a *Salmonella oranienburg* képes életben maradni relatív alacsony, 0,6 alatti vízaktivitású környezetben (Beuchat, és mtsai. 2013). A környezet vízaktivitás csökkenése növeli a mikrobiális sejtek ozmotikus stresszét, mivel a sejtek mindig igyekeznek fenntartani a kissé alacsonyabb belső ozmotikus nyomást. A stresszen kívül az ozmotikus nyomáskülönbségnek további hatási vannak az enzimgátlásra, a citoplazma koagulációjára és a sejtfa károsodására. Meg kell említeni, hogy a mikroorganizmusoknak van képessége alkalmazkodni az alacsonyabb vízaktivitású környezethez (Rahman 2020), de az általam mért vízaktivitás értékek jóval alacsonyabbak, mint a szakirodalomban fellelhető adatok, így mikrobiológiailag biztonságosnak értékelem az általam készített élelmiszereket azonban meg kell említeni, hogy az alacsony víztartalom nem sterilizál, hanem gátolja a mikrobák növekedését!

A 28. ábra alapján 0,10-0,12 vízaktivitás érték eltér a zsírok szempontjából kívánatos 0,3-0,5 (Troller 1989) értéktől, nem a legideálisabb tárolási körülmény. Az enzimatis folyamatok még jelen vannak a zsírok oxidációja is intenzívebben megy végbe és ezek a folyamatok nemkívánatos fiziko-kémiai eredetű elváltozásokat okoznak. A búzacsíra glikozid hidroláz 20°C-on 0,2  $a_w$  érték mellett, a lipáz 5-40°C közt 0,25  $a_w$  értéken még aktív marad (Drapron 1985).

A rendszerben jelenlevő víznek védőhatása van a környezeti oxigénnel szemben. Egy oxigénmolekula kötőhelyéhez való kötődése a vizes burkolóhüvelyben összeegyeztethetetlen (Klotz és Heiney 1957). Az alacsony nedvességtartalom fokozza oxidációt és az avasodást. További magyarázatként szolgál, hogy az adszorbeált víz

kötési energiája gátolja a szomszédos szénhidrát vagy fehérje molekulák polaritások csoportjai közötti kölcsönhatásokat, ami hozzájárul az élelmiszerek rehidratációs képességének megőrzéséhez (Salwin 1959). Magasabb vízaktivitás esetében alapvetően a víz fontos a lipid oxidációban, oldószerként viselkedik, reagenseket mobilizál, és kémiai vagy hidrogénkötést alkotva kölcsönhatásba képes lépni. A jelenlévő víz ugyanakkor védőfunkciót is betölt az oxidációval szemben mert kölcsönhatásba lép a fémkatalizátorokkal, ami által csökken a hatékonyságuk. A víz hidrogénkötéseket alkot a hidroperoxiddal, így azokat lekötve már nem állnak rendelkezésre a kezdeti reakciókon keresztül történő bomláshoz. Amikor a környezeti nedvességtartalom magasabb, mint a monoréteg nedvességtartalma, a víz oldószer és mobilizációs tulajdonságai fontosabbá válnak mert a jelenlévő katalizátorok könnyebben mobilizálódnak. A szilárd szerkezet esetleges változásai (zsugorodás) új katalitikus helyeket nyit meg, így az oxidáció intenzívebbé válik (Labuza 1968, Labuza, és mtsai. 1966). A lipid autooxidációja gyorsan bekövetkezik alacsony vízaktivitás mellett, majd a folyamat intenzitása csökken, amíg el nem éri a 0,3–0,5 közötti vízaktivitási tartományt (Troller 1989). Az alacsony víztartalom esetén különösen a porózus szubsztrátumokban, a telítetlen lipidek peroxidációja nagyon gyorsan végbemegy. A magas vízaktivitás 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 fehérje- és lipidoxidáció kinetikája a hidroperoxid és karbonilok képződése tekintetében hasonló a folyamat, de a fehérje oxidációs termékek változatosabbak, mint a lipidoxidáció során keletkezők, mert a fehérjék reaktívabb tulajdonságúak. Az élelmiszerekben a kezdeti oxidatív reakciók lejátszódását a fehérjék és lipidek közötti kölcsönhatások fokozzák. Ennek az az oka, hogy az oxidációs reakciók hasonlóak. A lipid- és fehérjeoxidáció kialakulása párhuzamosan vagy egymástól függetlenül is megtörténhet, de gyakran vannak köztük kölcsönhatások (Zhang, és mtsai. 2013). A fehérjékben kialakuló szabadgyökök reagálnak a peroxid lipidekkel. A kialakuló szabadgyökök mennyisége és típusa nagymértékben függ a vízaktivitástól. Alacsony vízaktivitás mellett a legnagyobb veszély a zsírok autooxidációja, melynek három jellegzetes alaptípusa a dehidrogenezés, a peroxidképződés és az oxidáció. Dehidrogenezéskor hidrogén hasad le a szerves molekuláról, de oxigén nem lép a helyére. A molekuláris oxigén a hidrogénnel hidrogénperoxidot képez, amely ebben a formában marad, vagy másodlagos reakciók során átalakul. A peroxidképződés során az

oxigénmolekula peroxidképződés formájában épül be a molekulába. Az oxidáció során az oxigén belép a molekulába, de nem peroxidkötés formájában. Az autooxidáció első terméke a hidrogénperoxid, ami igen változatosan bomolhat tovább, és a keletkező szabadgyökök további autooxidációs folyamatokat indukálhatnak (Gasztonyi és Lásztity 1992).

Az általam készített élelmiszerek avasodásával kapcsolatos mérések eredményeit a 14. táblázat tartalmazza:

**14. táblázat:** Fagyasztva szárított élelmiszerek avasodás vizsgálatának eredményei (vizsgálat ideje: 2023. június hónap, a minta megnevezésében szereplő dátum a készítés idejét jelöli, a rehidratált tömegre a számolás a 20. táblázatban szereplő tömegveszteség adatok alapján végeztem)

	<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, az étolajokra vonatkozó irányelv kivételével konkrét határértékeket nem tartalmaz. A Magyar Élelmiszerkönyv 2-221 étolajokra vonatkozó irányelve szerint szűz és hidegen sajtolt étolaj savszám legfeljebb 4,0, 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 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. Más szerzők mérései és a MÉ-ben található

adatok 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 általam használt technológiára lettek méretezve az adalékanyagok mennyisége a gyártásuk során. Az alkalmazott csomagolóanyag és csomagolóanyag sem volt specifikus. Meglátásom szerint a fentiek összetett hatása révén lettek magasak az eredményeim az avasodással kapcsolatos vizsgálataim során, amely véleményem szerint az antioxidánsok használatát elengedhetetlenné teszi a fagyasztva szárított élelmiszerek esetében.

A nem enzimes eredetű változások közül meg kell vizsgálni, hogy a változás lejátszódik-e alacsony vízaktivitás érték mellett. A Maillard-reakció lejátszódásához legalább 0,3  $a_w$  szükséges (Warmbier, és mtsai. 1976, Belitz, Grosch és Schieberle 2008), 0,1  $a_w$  érték mellett nem fog lejátszódni. A nem enzimes barnulás a legtöbbször 0,6-0,8  $a_w$  mellett megy végbe, alsó határa 0,3  $a_w$  (Bell 1995). A tápanyagtartalom esetleges vesztesége összetett folyamat a vízaktivitáson túl függ a tárolási hőmérséklettől, az oxigén jelenlététől és a fénytől. A B<sub>1</sub> vitamin veszteség mértéke függ a hőközléstől, a pH-tól és a fémek jelenlététől. A veszteség mértéke megnő 45°C-on tárolt termékeknél, ha a  $a_w$  értéke 0,24 vagy annál magasabb (Rahman 2020) de 0,1-től 0,65-ig terjedő  $a_w$  mellett szobahőmérsékleten még 8 hónap tárolási idő után is mennyisége közel 100%-ban változatlan marad. A B<sub>2</sub> vitamin megőrzése is megközelítően 100% nyolc hónapig történő tárolás során 10–20°C környezeti hőmérsékleten és 0,1-től 0,65-ig terjedő  $a_w$  értéken (Dennison, és mtsai. 1977).

A fentiek alapján a legnagyobb veszélyt a rendszerben maradó oxigén jelenti, így a tároláshoz élelmiszeripari felhasználásra alkalmas N<sub>2</sub> vagy Ar védőgáz vagy vákuum használata javasolt fényt és oxigént át nem eresztő csomagolásba.

Fontos kiemelni a stabilitási diagramm alapján (32. ábra) az alacsony  $a_w$  értéknél megnő karotinodok bomlásának a sebességének növekedést. Béta karotin érzékeny a környezetben jelenlevő oxigénre és a  $a_w$ -ra (Harnkarnsujarit, és mtsai. 2012a). A dehidratált rendszerekben gyorsabban lebomlanak az autokatalitikus oxigén jelenléte miatt (Goldman, és mtsai. 1983). Azonban nem szabad elfelejtkezni a hőkezelés hatásáról. Blansírozás hatására a karotinodok stabilabbak maradnak (Arya, és mtsai. 1979). Szárított répaszeleteken különböző hőmérsékleten (27°C, 37°C, 47°C, 57°C)

végzett vizsgálatok során blansírozott mintákban a karotin bomlási rátája 18-61%-a volt csak a blansírozottakhoz képest (Koca, és mtsai. 2007). A bomlási sebesség csökkenésnek az oka, hogy a hőkezelés során inaktiválódnak az enzimek. Meg kell említeni, ha a blansírozás vagy magasabb hőmérsékleten történő hőkezelés során változik az élelmiszer szerkezete annak következtében a környezeti oxigén számára hozzáférhető lehetnek az oxidációra érzékeny élelmiszer alkotók (Gómez, és mtsai. 2004).

A vízáktívítás mérés és az avasodás vizsgálatok során kapott eredményeket értékelve megállapítható, hogy várhatóan antioxidánsok használata mellett a fagyasztva szárítás technológia alkalmazásával elérhető a követelményként állított 45°C-on 3 évig tartó eltarthatóság.

#### 4.4. Színmérés

A burgonya színének és tápanyagtartalmának korreláció analízis eredményeit a 15. táblázat tartalmazza.

**15. táblázat:** Színmérés korrelációvizsgálat eredményei (r)

	Érték	Egész részek aránya	Fehérje tartalom száraz anyagra	Keményítő tartalom száraz anyagra	Redukáló cukor tartalom száraz anyagra
Nyers burgonya	L*	-0,6112 <sup>+</sup>	-0,6055 <sup>+</sup>	0,3409	0,2191
	a*	0,0886	0,2884	-0,7196 <sup>++</sup>	0,2732
	b*	0,4887 <sup>+</sup>	0,6116 <sup>+</sup>	-0,3184	-0,1856
Főtt burgonya	L*	0,5812 <sup>+</sup>	0,4925 <sup>+</sup>	-0,3703	-0,4279 <sup>+</sup>
	a*	0,3265	-0,0596	0,1217	0,0553
	b*	0,3794	0,6878 <sup>+</sup>	-0,3778	-0,4471 <sup>+</sup>
Fagyasztva szárított főtt burgonya	L*	-0,3843	0,4897 <sup>+</sup>	0,5770 <sup>+</sup>	0,2631
	a*	0,0123	0,0270	0,0859	0,0940
	b*	0,2959	0,2825	-0,2838	0,1018
Rehidratált fagyasztva szárított főtt burgonya	L*	-0,4883 <sup>+</sup>	-0,5337 <sup>+</sup>	0,6079 <sup>+</sup>	0,2776
	a*	0,0981	0,2718	-0,0198	0,4947 <sup>+</sup>
	b*	0,2126	0,4514 <sup>+</sup>	-0,3875	-0,2014
Nyers / főtt burgonya	$\Delta L^*$	0,7013 <sup>++</sup>	-0,7168 <sup>++</sup>	0,3693	0,5789 <sup>+</sup>
	$\Delta a^*$	-0,0606	0,2617	-0,7464 <sup>++</sup>	-0,2177
	$\Delta b^*$	-0,1169	-0,2949	0,6076 <sup>+</sup>	0,2942
	$\Delta E$	0,1519	-0,0327	0,1125	0,1746
Főtt/ rehidratált burgonya	$\Delta L^*$	-0,4653 <sup>+</sup>	-0,5268 <sup>+</sup>	0,5796 <sup>+</sup>	0,5096 <sup>+</sup>
	$\Delta a^*$	-0,2065	-0,3275	-0,1164	0,5288 <sup>+</sup>
	$\Delta b^*$	0,3858	-0,4786 <sup>+</sup>	0,0505	0,3210
	$\Delta E$	0,0294	-0,0403	0,2184	0,2362

+ Közepes korreláció, jelentős kapcsolat

++ Magas korreláció, markáns kapcsolat

A szárazanyagban lévő redukáló cukrok mennyisége és a színmérések közötti kapcsolat alacsony volt, a korreláció értéke a főtt burgonya  $L^*$  értékével  $-0,4279$ , a  $b^*$  értékével pedig  $-0,4471$  volt. Rehidratálás után a korrelációja az  $a^*$  értékkel  $0,4947$  volt. A színértékek különbségeit elemezve a nyers és a főtt burgonya közötti fényesség változásának a nagyságának ( $\Delta L^*$ ) korrelációja  $0,5789$  volt. A nyers burgonya redukálócukor 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 együtthatóval. 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. Emellett 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 ( $r = -0,6055$ ) és a  $b^*$  értékkel ( $r=0,6116$ ). Ez a korreláció azonban a rehidratálás után csökkent,  $-0,5337$ -es korrelációs együttható értékre és  $0,4514$ -es korrelációs együttható értékre. 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 főzött és rehidratált állapot  $L^*$  értékei között  $-0,5268$  volt. A szerkezeti stabilitás vizsgált eredményei és a fény mérés eredményei között is végeztem korreláció analízist. A korreláció értéke az egész, nem töredezett fagyasztva szárított főtt burgonya és a nyers burgonya  $L^*$  érték között  $-0,6112$ , a főtt állapotban mért érték között pedig  $0,5812$ . A nyers és a főtt burgonya közötti fényesség változás és az egészben maradt részek közötti kapcsolat  $0,7013$  volt.

A burgonya színe a jelen lévő karotinodok mennyiségétől függ. Az izocitrát-dehidrogenáz (IDH) egy olyan enzim, amely az alfa-ketoglutarát képződésének közvetítésével döntő szerepet játszik a karotinoid szintézis útjában. Az IDH aktivitását

befolyásolja a szárazanyag- és fehérjetartalom, ami viszont befolyásolja az alfa-ketoglutarát szintjét és a karotinoidok bioszintézisét (O'Carra és Mulcahy 1996). A szárazanyag- és fehérjetartalom befolyásolhatja az anyagcserét és annak termékeit, közvetve befolyásolva a karotinoidok képződését (Romberger és Norton 1961, McAvoy és Janes 1990). Fogelman és munkatársai 2019-ben különböző burgonyafajták antocián- és karotinoid tartalmának változását vizsgálták hőkezelés hatására. A vizsgált karotinoidok közé tartozott a neoxántin, a violaxantin, az anteraxantin, a zeaxantin, a lutein és a  $\beta$ -karotin. A vizsgálat megállapította, hogy a karotinoidok főként a gumóhúsban halmozódtak fel, ahol a karotinoidokkal kapcsolatos gének kifejeződnek. A karotinoidokkal kapcsolatos transzkriptumok vizsgálata alacsony expressziós szintet mutatott, amelyet a hőkezelés nem befolyásolt jelentősen. A hőkezelést követően a fehér vagy sárgás színű gumós fajta a kontrollhoz képest enyhe növekedést mutatott a karotinoid típusokban. A különböző karotinoid pigmentek aránya megváltozott, de a mennyisége nem változott. Méréseim során a nyers burgonya  $b^*$  értéke 0,6116-os korrelációt mutatott a száraz tömegű fehérje mennyiségével, ami hőkezelés (főzés) után 0,6878-ra nőtt. Kutatásuk azt mutatta, hogy a hőkezelés elsősorban a zeaxantin szintjét növelte, míg a violaxantin és az anteraxantin szintjét csökkentette. A mérési eredményeik szerint a világosabb burgonya fő színösszetevői a lutein és a zeaxantin. A sárgás színűnek tűnő burgonya anteraxantin és violaxantin, míg a narancssárga burgonya színanyaga szinte teljes egészében luteinből és zeaxantinból áll. Méréseim szignifikáns összefüggésre utalnak a közönséges burgonya szárazanyag tartalmára számított fehérjemennyisége és a gumószín  $b^*$  értéke között ( $r=0,6116$ ) illetve szintén szignifikáns összefüggést mutat a szárazanyagra számított keményítő mennyisége és a gumószín  $a^*$  értéke ( $r = -0,7196$ ) közt. Eredményeim arra utalnak, hogy mind a fehérje mind a keményítő mennyisége közvetlenül összefügghet az antociánok és karotinoidok mennyiségével. Fontos megjegyezni, hogy egyes burgonyafajták nemesítési jellemzői miatt eltérhetnek eredményeimtől, és kivételek lehetnek.

#### **4.5. Állományvizsgálat**

Az állományváltozás méréseket (33. ábra) rehidratált sertéskarajon végeztem. A maximális nyíróerőre vonatkozó adatokat, valamint a főzési paraméterek, a rehidratációs időket és a hozzá tartozó rehidratációs hőmérsékleteket az 16. táblázat tartalmazza. A variációs koefficiens érték nagysága viszonylag magas, statisztikai értelemben közepes

vagy erős változékonyságra utal. Az adatok elfogadása vagy elvetése előtt összehasonlítást végeztem más szerzők által mért WBSF mérések eredményeinek variációs koefficiens értékével (Cama-Moncunill, és mtsai. 2020, Shackelford, és mtsai. 1999, Wyrwisz, és mtsai. 2019). Az adatok hasonlóságot mutattak, ezért azokat elfogadtam.

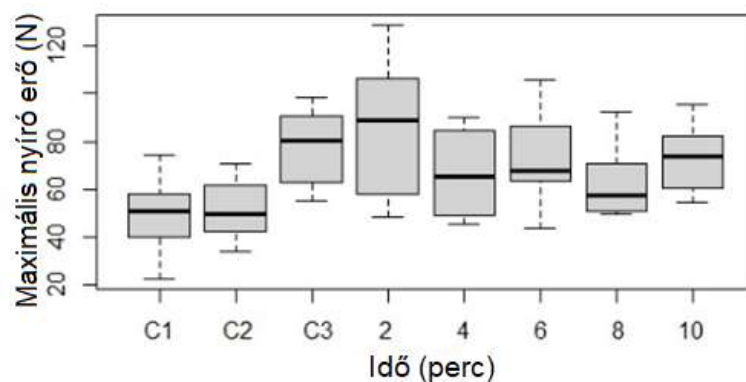
**16. táblázat:** Rehidratált fagyasztva szárított sertéskaraj maximális nyíróerő (WBSF) értéke és leíróstatisztikai elemzése (n=162)

Főzési hőmérséklet (°C)	Rehidratáció hőmérséklete (°C)	Rehidratáció ideje (perc)	Maximális nyíró erő Átlag±szórás (N)	Variációs koefficiens	Standard hiba
100	80	Kontroll (C1)	49,8±14,1	28,4	3,65
120	80	Kontroll (C2)	51,3±11,4	22,2	2,55
120	50	Kontroll	77,8±14,8	19,0	4,68
120	40	Kontroll	89,6±18,2	20,3	8,15
120	50	2	85,4±29,6	34,6	10,45
120	50	4	66,6±18,1	27,1	6,40
120	50	6	73,0±19,2	26,3	6,81
120	50	8	62,5±15,0	24,0	5,31
120	50	10	72,7±14,1	19,9	4,98
120	40	2	71,7±25,1	35,0	8,87
120	40	4	85,7±18,8	22,0	6,66
120	40	6	74,7±13,2	17,7	4,66
120	40	8	60,3±13,7	22,8	4,86
120	40	10	54,5±14,5	26,6	5,13
120	30	2	83,4±18,2	21,8	7,42
120	30	4	77,9±19,2	24,6	7,26
120	30	6	66,4±33,1	49,8	12,51
120	30	8	82,3±25,4	30,9	9,60
120	30	10	74,7±19,3	25,9	8,64

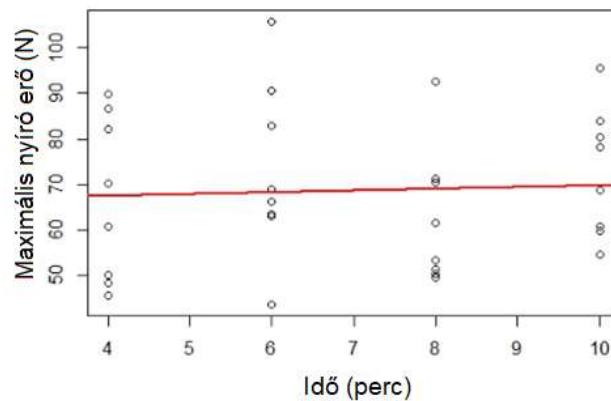


**33. ábra** WBSF mérése

Az 50°C-on végzett rehidratáció mérések eredményeit 34. ábra, a rehidratációs idő és a nyíróerő közötti regressziós egyenest a 35. ábra mutatja,



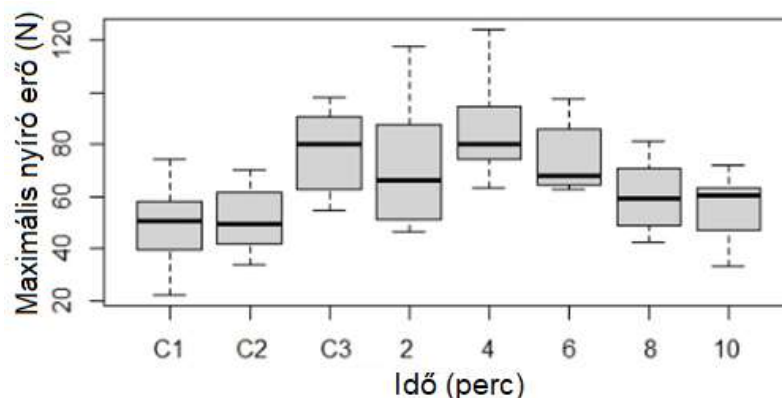
**34. ábra** 50°C-on rehidratált fagyasztva szárított sertéskaraj átlagos maximális nyíróerő értéke a rehidratációs idők szerint (C1=kontroll 100°C; C2=kontroll 120°C; C3=kontroll 50°C)



**35. ábra** 50°C-on rehidratált fagyasztva szárított sertéskaraj maximális nyíróerő értéke és regressziós egyenese a rehidratáció ideje 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. Az eltérés az eltérő hőmérsékletből adódik (Laakkonen 1973), ezért elfogadásra került. 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 36. ábra tartalmazza.



**36. 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 40°C)

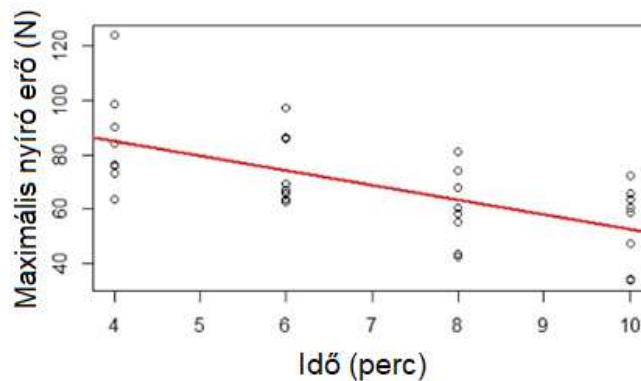
A variációs együtthatók magas értéke (CV=17,6-24,7) miatt további statisztikai számításokat végeztem a rehidratációs idő és a maximális nyíróerő közötti esetleges kapcsolat vizsgálatára. Az adatelemzés során csak a 40°C-on végzett mérések eredményeit vettem figyelembe. A tényleges és statisztikai értelemben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

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

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

\* Szignifikáns különbség (p < 0,05)

A kétmintás t-próba (p=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. A rehidratációs idő és a nyíróerő közötti regressziós egyenest a 37. ábra tartalmazza.



**37. ábra** 40°C-on rehidratált fagyasztva szárított sertéskaraj maximális nyíróerő értéke és regressziós egyenese a rehidratáció ideje szerint

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 értem el

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.

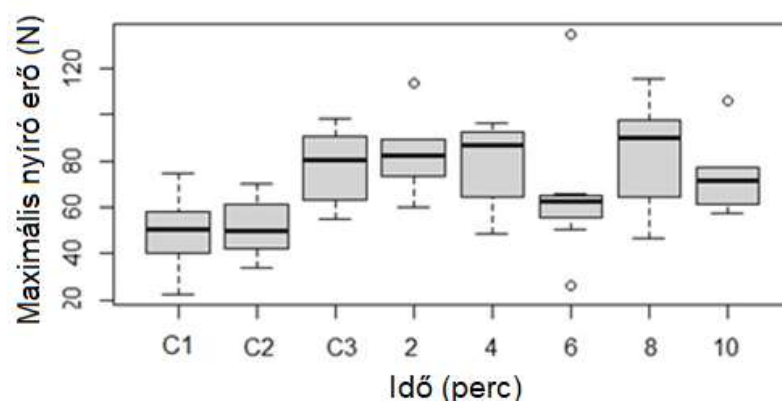
$$\text{Az egyenes egyenlete } y = -5,406x + 106,65$$

Figyelembe véve az eredmények nagy varianciáját, kiszámítottam a minták mediánját az alábbiak szerint:

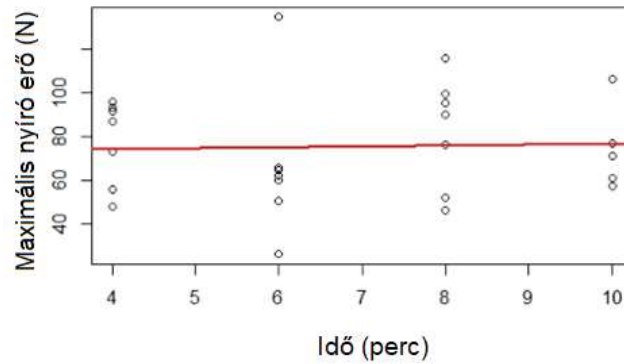
$$\text{Az egyenes (medián) } y = -3,5411x + 91638 \text{ egyenes egyenlete; } R^2=0,8558$$

A többszöri megerősítő számolás alapján megállapítható, hogy lineáris, erős függő kapcsolat van változók között. Továbbá 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 38. ábra, a rehidratációs idő és a nyíróerő közötti regressziós egyenest a 39. ábra mutatja,

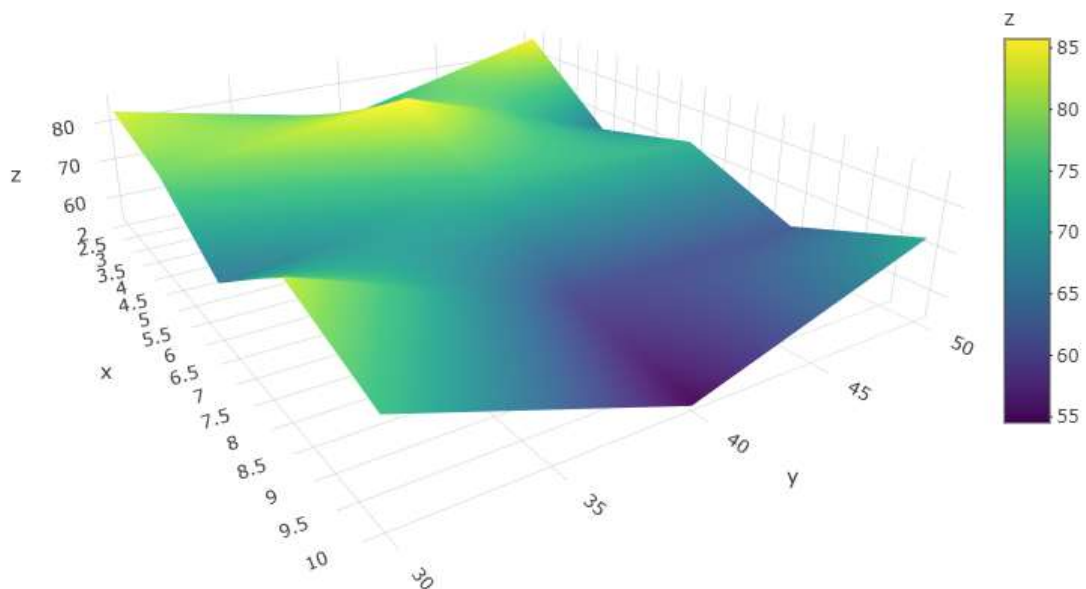


**38. ábra** 30°C-on rehidratált fagyasztva szárított sertéskaraj átlagos maximális nyíróerő értéke a rehidratációs idők szerint (C1=kontroll 100°C; C2=kontroll 120°C; C3=kontroll 40°C)



**39. ábra** 30°C-on rehidratált fagyasztva szárított sertéskaraj maximális nyíróerő értéke és regressziós egyenese a rehidratáció ideje 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-érték: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 40. ábra mutatja.



**40. ábra** A nyírásához szükséges erő és a különböző hőmérsékleten és idő alatti rehidratálás kapcsolatának felületi diagramja, ahol x=idő (perc), y=rehidratációs víz hőmérséklete (°C), z=WBSF (N)

Az állományvizsgálat eredményeit értékelve megállapítható, hogy a megfelelően előkészített alapanyaggal elérhető az élelmiszer eredeti állománya a 10 perc idejű rehidratáció alatt.

#### 4.6. Szerkezeti stabilitás vizsgálat

Tárolás során a burgonyaminták eltérő tulajdonságúak voltak. Közvetlen a fagyasztva szárítás művelete után különbség még nem mutatkozott, de a tárolási idő előrehaladtával a tároló tasakokban megjelentek a töredezett és por állagú burgonya frakciók. Ennek a mértéke mintánként (fajta és fajta jelölt) eltérő volt. A Balatoni rózsa fajta frakciói a 41. ábrán látható.



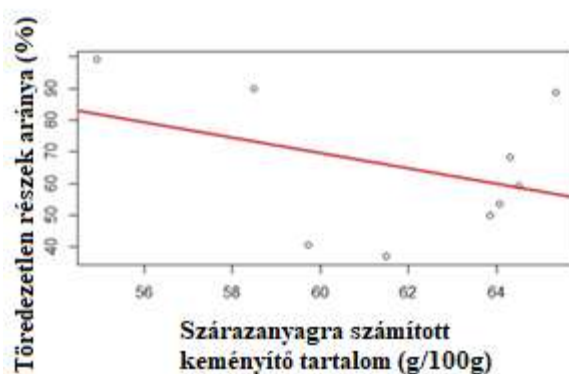
**41. ábra** A fagyasztva szárított főtt burgonya tárolás során keletkező frakciói (Balatoni rózsa).

A különböző típusú liofilizált burgonya szerkezeti stabilitásának eredményeit a 18. táblázat tartalmazza.

**18. táblázat:** Különböző típusú liofilizált burgonya minták frakcionálásának az eredményei

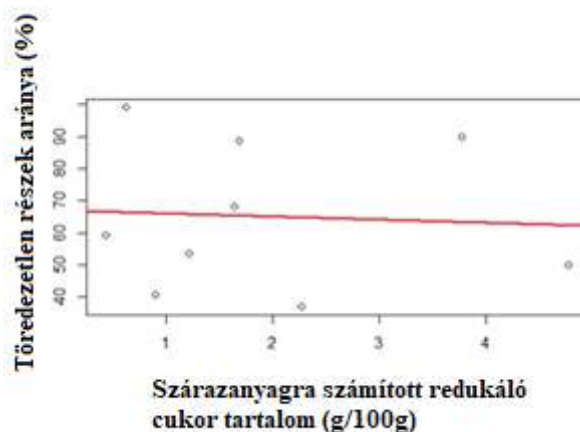
Fajta/ fajta jelölt	Egész, nem töredeztett részek (%)	Töredeztett részek (%)	1–10 mm-es frakció (%)	1 mm-nél kisebb frakció (%)
14.21	68,4	11,1	10,5	21,1
Arany chipke	59,3	41,1	30,1	10,6
Balatoni rózsza	40,5	59,5	26,4	33,0
Balatoni sárga	89,7	10,3	7,9	2,4
Basa	37,0	63,0	34,4	28,6
Démon	53,5	46,5	24,6	21,9
Golden river	88,7	11,3	7,9	3,3
Hópehely	50,0	50,0	30,0	20,0
Somogyi kifli	99,0	1,0	0,0	1,0

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 változása. A statisztikai elemzés diagrammba foglalt eredményei tápanyagtartalom szerint a 42-44. ábra mutatja. Az analízist az egész részek arányával számolva végeztem.



**42. ábra:** A szárazanyagra számított keményítőtartalom és a stabilitási szerkezeti vizsgálat során kapott eredmények közötti kapcsolat

Az adatok közötti korreláció értéke  $-0,3723$  az,  $R^2$  értéke  $0,0140$  volt (p-érték:  $0,05$ ). Ez azt jelzi, hogy statisztikai értelemben nincs kapcsolat a változók között,



**43. ábra** A száranyagra számított redukáló cukor tartalom és a stabilitási szerkezeti vizsgálat során kapott eredmények közötti kapcsolat

Az adatok közötti korreláció értéke -0,0602 az,  $R^2$  értéke 0,0036 volt (p-érték: 0,05). Ez azt jelzi, hogy statisztikai értelemben nincs kapcsolat a változók között.



**44. ábra** A száranyagra számított fehérje tartalom és a stabilitási szerkezeti vizsgálat során kapott eredmények közötti kapcsolat

Az adatok közötti korreláció értéke 0,8276 az,  $R^2$  értéke 0,685 volt (p-érték: 0,05). Ez azt jelzi, hogy statisztikai értelemben erős a kapcsolatot a változók között.

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

A fagyasztva szárított főtt burgonya jellemzőivel kapcsolatban korlátozottan lelhetők fel kutatási eredmények és 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 burgonya textúrája összetett tulajdonság, amely számos tényezőtől befolyásol, mint például a szárazanyagtartalom, a fajsúly, az amilóz- és cukortartalom, valamint a gumók fehérje- és nitrogén tartalma (Arvanitoyannis, és mtsai. 2008, Jitsuyama, és mtsai. 2009). A textúrát a nyers gumószövetben lévő keményítőszemcsék mérete és szerkezete is meghatározza (Thybo, és mtsai. 2006). A keményítőszemcsék szerkezetében is van különbség (Faulks és Griffiths 1983). A főzési folyamat során a burgonyában lévő keményítő zselésedésen megy keresztül, kitágul, megnő a térfogata, ami a sejtekben nyomást eredeztet. A burgonya textúráját a sejtekben lévő zselatinizált keményítő mennyisége határozza meg. A lisztes burgonya száraz és szemcsés textúrájú, míg a viaszos burgonya nedves és gumyszerű. A több zselatinizált keményítőt tartalmazó sejtek lisztes állagúak, míg a kevesebb keményítőt és több vizet tartalmazó sejtek viaszos állagúak (Martens és Thybo 2000). A viaszos sejt típusban a lazán visszatartott víz a főzés utáni fogyasztáskor a szájban a rágás hatására felszabadul, és nedves jelleget kelt. Ezzel szemben a lisztes típusú zselatinizált keményítő visszatartja a vizet, ami a szájban szárazságérzetet eredményez. Ez egy fontos minőségi jellemző, amely a konyhatechnológiailag ajánlott alkalmazásával függ össze (Smith, és mtsai. 2009). A folyamat a keményítőszemcsék szerkezetének visszafordíthatatlan változása a kristályszerkezet elvesztése miatt változásokat okoz a funkcionális tulajdonságokban. Ezen kívül a keményítő retrográd módon RS2 típusú rezisztens keményítővé alakul. A fagyasztva szárítás gyengíti a burgonyakeményítő szemcsék kristályszerkezetét és pórusokat képez, míg a hagyományos forrólevegős szárításos eljárás és az etanolos szárításnak nincs jelentős hatása a kristályszerkezetre (Bao, és mtsai. 2021). Ezzel szemben Buzera és munkatársai 2022-ben végzett vizsgálatának eredményei alapján a fagyasztva szárításnak nincs jelentős hatása a keményítőszemcsék szerkezetére vagy kristályvázára. Hasonló eredményekről számolt be Qiu és munkatársai 2019-ben. Bao és munkatársai 2021-ben a burgonyalisztek termikus paramétereinek fagyasztva szárításból eredő szerkezeti változásáról számoltak be. A fagyasztva szárított lisztek hőátmeneti hőmérséklete a hagyományos forrólevegős szárítás vagy az etanolos szárításhoz képest jelentősen alacsonyabb volt, ami a keményítőkristályoknak a szárítás során bekövetkező károsodásának tudható be. Emellett a fagyasztva szárított burgonyalisztnak sokkal magasabb a viszkozitása, ami szintén a keményítőszemcse felületének szerkezeti változásával függött össze. Az etanolos kezeléssel kiegészített szárítás hatását vizsgálták

a burgonya technológiai tulajdonságainak változását mérve. Az előbbieken során leírt kombinált kezelés körülbelül 60%-kal csökkentette a szárításhoz szükséges idő hosszát, míg a kezdeti rehidratálás ideje 25%-kal nőtt. Ezt a különbséget a burgonya sejtfalában bekövetkezett változásokra vezethető vissza. A keményítőszemcsék jellege miatti hatás nem jelentős, beleértve a szemcsék alakját, felületét és szerkezetét (Guedes, és mtsai. 2021). A fagyasztva szárított burgonyalisztek vízfelvétele nagyobb a keményítőszemcsék megbomlása miatt. Ezzel szemben a hagyományos szárítószekrényben történő szárítás a keményítő amorf régióinak rendezettebb szerkezetét eredményezi, ami alacsonyabb viszkozitáshoz vezet (Hormdok és Noomhorm 2007). A sejtfal jellemzői szintén befolyásolhatják a textúrát (Jarvis és Duncan 1992a, Jarvis, és mtsai. 1992b). A pektinmetilészteráz aktivitása döntő fontosságú a szilárd szövet kialakulásához a főzés során a középső lamellában lévő pektin kereszt kötése révén (Dincer 2017). A különböző fajták különböznek a sejtfal sűrűségében és a középső lamella és a sejtfal feloldódásának mértékében, ami végső soron a textúrát befolyásolja (Van Marle, és mtsai. 1997). 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 2000-ben közölt eredményeivel

A burgonya tápanyagtartalmának, a szín mérésének és a szerkezeti stabilitás vizsgálat 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 és a nyers és a főtt állapotban a világosság és a szín értékek, ezen változók lesznek a komponensek. Ezek a komponensek még az eljárás alkalmazása előtt egyszerűen mérhetőek, így használatukkal megkönnyíthető az alkalmas fajta kiválasztás. Az eredmények az alábbiak:

**19. táblázat:** A fagyasztva szárított főtt burgonya színváltozásának és szerkezeti stabilitásának Pearson féle korrelációs mátrixa

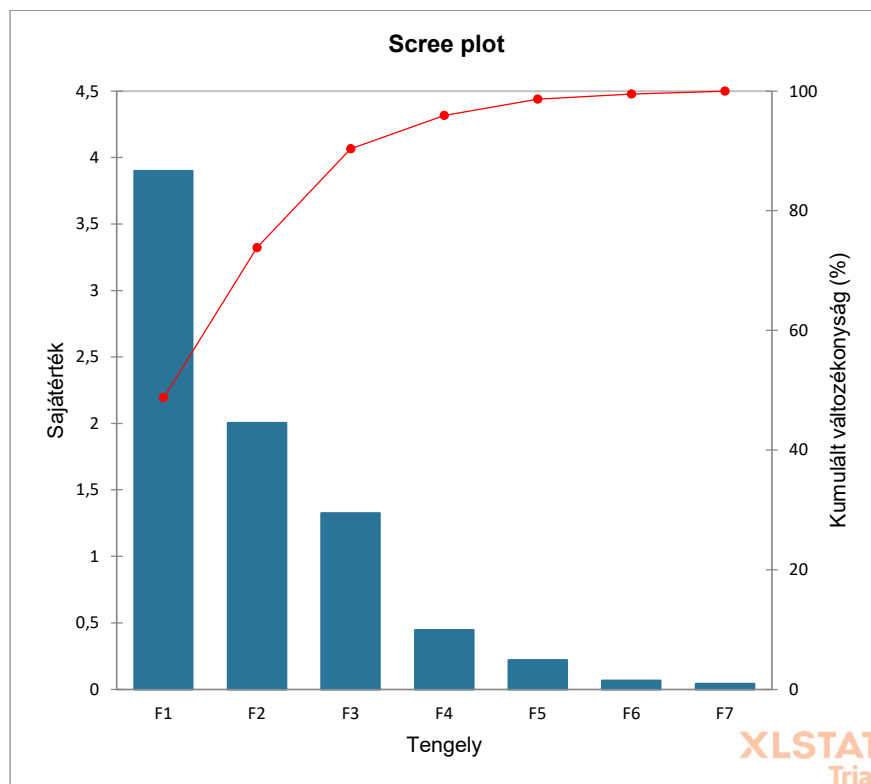
Változó	Fehérje mennyisége száraz anyagra	Keményítő mennyisége száraz anyagra	L* nyers	a* nyers	b* nyers	L* főtt	a* főtt	b* főtt
Fehérje mennyisége száraz anyagra	<b>1</b>	-0,561	-0,605	0,288	0,612	0,614	-0,005	0,695
Keményítő mennyisége száraz anyagra	-0,561	<b>1</b>	0,341	<b>-0,720</b>	-0,318	-0,299	0,222	-0,613
L* nyers	-0,605	0,341	<b>1</b>	-0,203	<b>-0,747</b>	-0,418	-0,003	<b>-0,859</b>
a* nyers	0,288	<b>-0,720</b>	-0,203	<b>1</b>	-0,151	0,446	0,011	0,335
b* nyers	0,612	-0,318	<b>-0,747</b>	-0,151	<b>1</b>	0,006	-0,425	<b>0,833</b>
L* főtt	0,614	-0,299	-0,418	0,446	0,006	<b>1</b>	0,640	0,243
a* főtt	-0,005	0,222	-0,003	0,011	-0,425	0,640	<b>1</b>	-0,421
b* főtt	0,695	-0,613	<b>-0,859</b>	0,335	<b>0,833</b>	0,243	-0,421	<b>1</b>

*A félkövérrel szedett értékek szignifikancia szintje ( $\alpha$ )=0,05*

**20. táblázat:** A fagyasztva szárított főtt burgonya színváltozásának és szerkezeti stabilitásának sajátértékei

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Sajátérték	3,90	2,00	1,32	0,45	0,22	0,07	0,04
Változékonyság (%)	48,75	25,05	16,55	5,59	2,74	0,83	0,51
Kumulatív variancia (%)	48,75	73,79	90,34	95,93	98,67	99,50	100,00

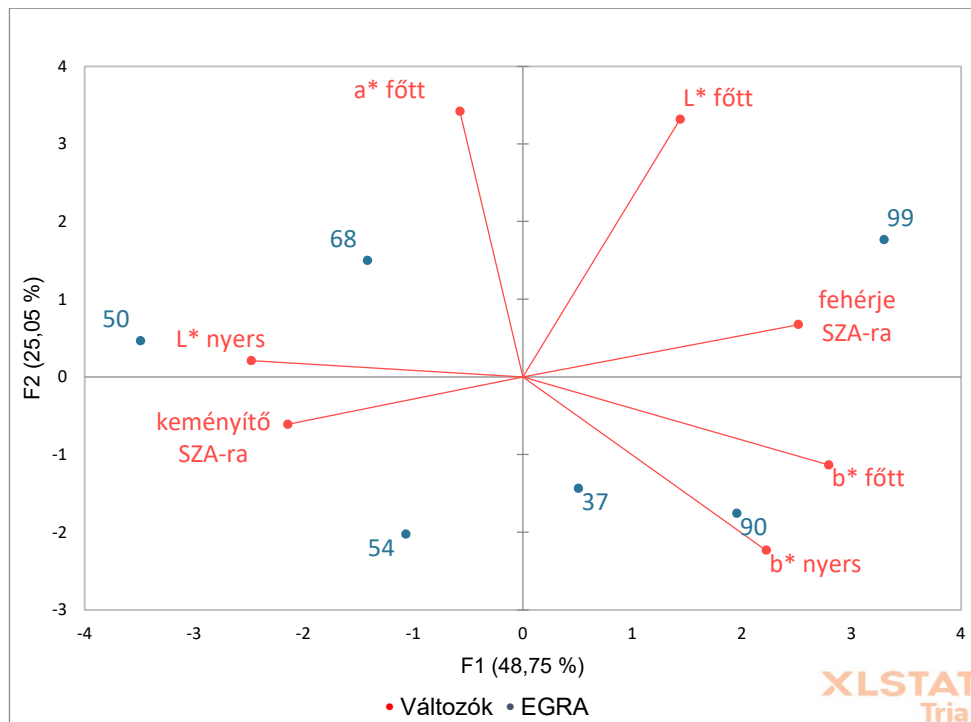
Az eredményeket diagrammba foglalva kialakítottam az úgynevezett vonásvektort a kiválasztott komponensek alapján és sorrendbe állítottam a legnagyobbtól a legkisebíg a komponensek szignifikancia szintje szerint.



**45. ábra** A fagyasztva szárított főtt burgonya színváltozásának és szerkezeti stabilitásának vonásvektora

Ha a sajátértékek 1-nél kisebbek, akkor az elvett adatmennyiség arányos mértékben szintén kevés lesz. Az ábráról és a 20. táblázatból leolvasható, hogy F1, F2 és F3 vonásvektor (komponens) esetében 90,34 % lesz a kumulált változékonyság, amely azt mutatja, hogy az adott főkomponens az összvariancia hány százalékát magyarázza.

A változókat az eredmények alapján 46. ábrában összesítettem. A kék számmal jelölt megfigyelések a szerkezeti stabilitás vizsgálat eredményei szerinti egész részek arányát jelöli (Egra).



**46. ábra** A fagyasztva szárított főtt burgonya színváltozásának leképezési vektorainak és szerkezeti stabilitásának kapcsolata

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 között kapcsolat van, ami hatással a fagyasztva szárított élelmiszer minőségére.

#### 4.7. Rehidratáció 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 tudni, hogy mennyi vizet veszített a termék a fagyasztva szárítás során, melynek az eredményeit a 20. táblázat tartalmazza.

**20. táblázat:** A vizsgált élelmiszerek tömegének változása fagyasztva szárítás során

<b>Élelmiszer</b>	<b>Tömeg fagyasztva szárítás előtt (g)</b>	<b>Tömeg fagyasztva szárítás után (g)</b>	<b>Különbség (g)</b>	<b>Tömegveszteség (%)</b>
Sertés karaj	906,35	310,20	596,15	66
Hal -szardínia sós lében	186,65	55,35	131,30	70
Hal -szardínia napraforgó olajban	179,58	57,42	122,16	68
Hal -heringfilé növényi olajban	119,82	36,32	83,48	70
Rizs „A” előgőzölt	100,12	30,25	69,87	70
Rizs „B” hosszúszemű	100,01	29,98	70,03	70
Rizs „A” hosszúszemű	100,25	31,21	69,04	69
Rizs jázmin főzőtasakos	100,05	30,06	69,99	70
Rizs barna főzőtasakos	100,09	32,55	67,54	67
Rizs basmati főzőtasakos	100,06	30,05	70,01	70
Rizs „A” hosszúszemű	100,05	29,98	70,07	70
Rizs „A” hosszúszemű	100,27	31,56	68,71	69
Tészta durum spagetti /a	102,52	38,25	64,27	63
Tészta durum spagetti /b	101,36	37,58	63,78	63
Tészta durum spagetti /c	99,88	38,02	61,86	62
Tészta 2 tojásos spagetti	102,22	37,30	64,92	64
Tészta 4 tojásos spagetti /a	101,02	38,51	62,52	62
Tészta 4 tojásos spagetti /b	99,82	38,42	61,41	62
Tarhonya	105,11	35,42	69,69	66
Burgonya püré	1000,02	209,02	791,02	79
Burgonya főtt	249,82	49,81	200,00	80
Szósz -lecsó 30%	1000,00	257,00	743,00	74
Szósz -mézes mustáros	399,85	62,01	337,84	84
Szósz -krémes gomba	402,15	60,25	341,91	85
Szósz -bolognai szósz	613,74	66,45	547,29	89
Szósz -lencse menü	409,02	95,81	313,20	77
Szósz -édes-savanyú mártás	401,63	61,36	340,27	85
Szósz -tejszínes paradicsomos	407,55	58,45	349,11	86
Smoothie /a	280,21	25,22	255,02	91
Smoothie /b	279,82	24,98	254,82	91

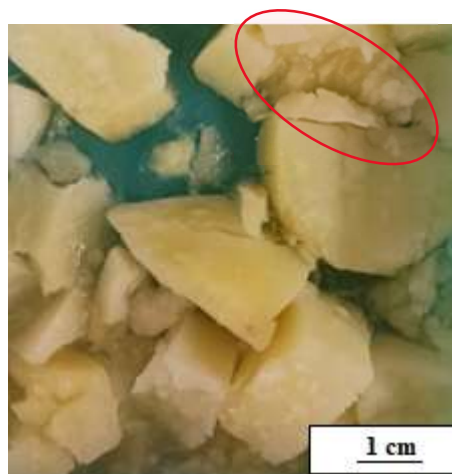
Az eltávozott nedvesség alapján határoztam meg a rehidratációhoz szükséges víz mennyiségét. A gyakorlati felhasználás szempontjából a húsféléket 0,7, tésztafélék 0,6, burgonya 0,8, szósók 0,8, smoothie 0,9 nedvességtartalommal számoltam és ez alapján határoztam meg a rehidratációhoz szükséges víz mennyiségét.

A sertéskaraj rehidratációs próbáiról (állományvizsgálat során) készült felvételek a 47. ábrán látható.

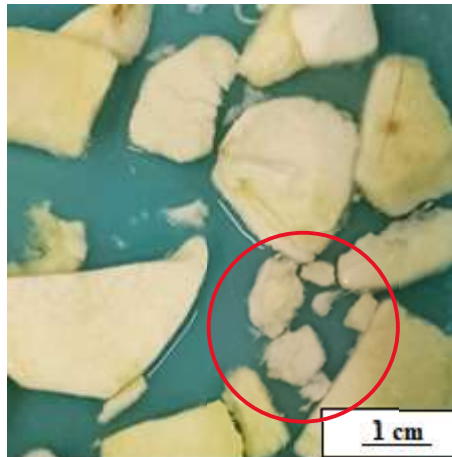


**47. ábra** Fagyasztva szárított főtt karaj rehidratációs próbája 30°C-on

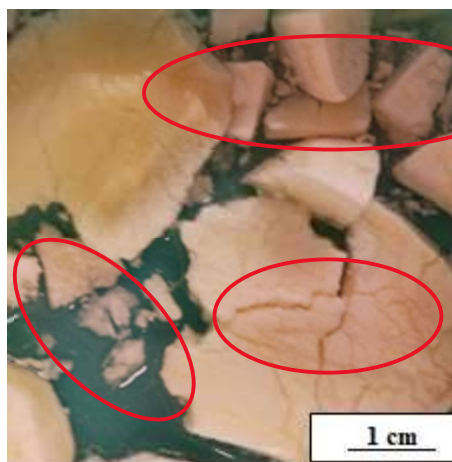
A fagyasztva szárított főtt burgonya rehidratációs próbája 40°C-on végeztem, az erről készült felvételeket a 48-56. ábra tartalmazza. A burgonya felületén jelentkező repedéseket és a felületi szétmállott részeket piros színű bekarikázással jelöltem. Kék színnel jelöltem a felülettől 1-2 mm-re megálló repedéseket, amik esetében nem eset szét az eredeti szerkezet.



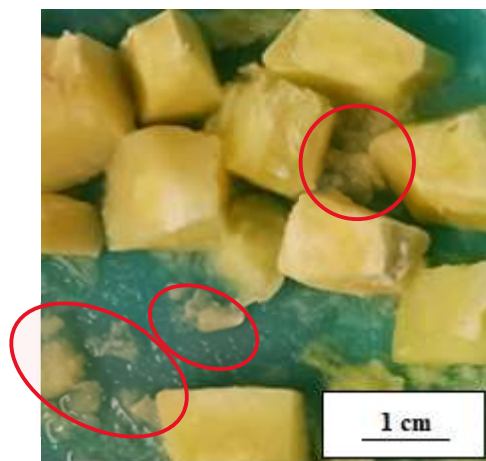
**48. ábra** Rehidratáció vizsgálat “14.21” fajtajelölt esetében 40°C-on



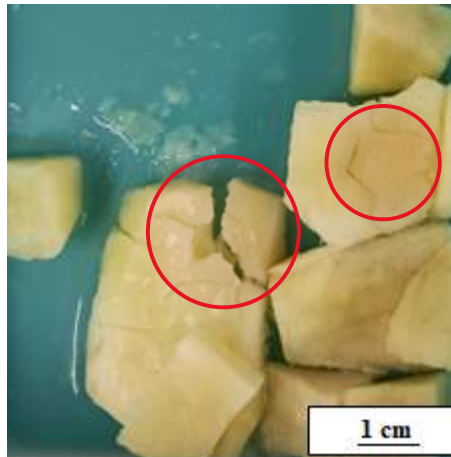
49. ábra Rehidratáció vizsgálat “Arany chipke” fajta esetében 40°C-on



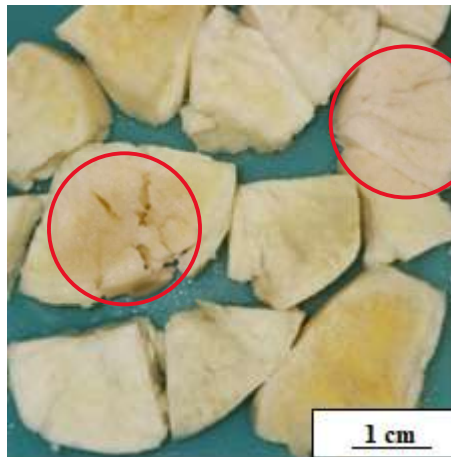
50. ábra Rehidratáció vizsgálat” Balatoni rózsza” fajta esetében 40°C-on



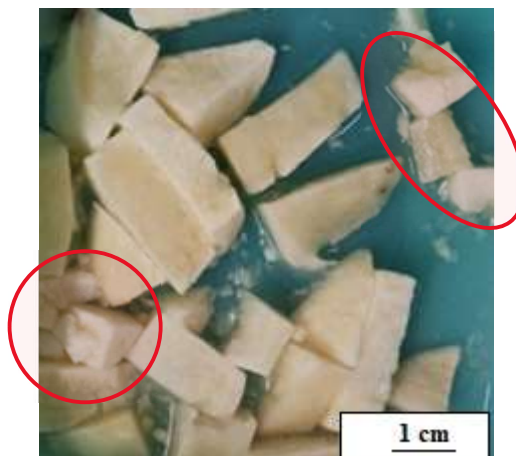
51. ábra Rehidratáció vizsgálat “Balatoni sárga” fajtajelölt esetében 40°C-on



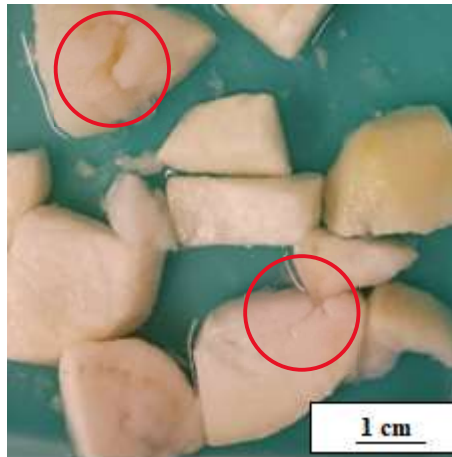
**52. ábra** Rehidratáció vizsgálat “Basa” fajta esetében 40°C-on



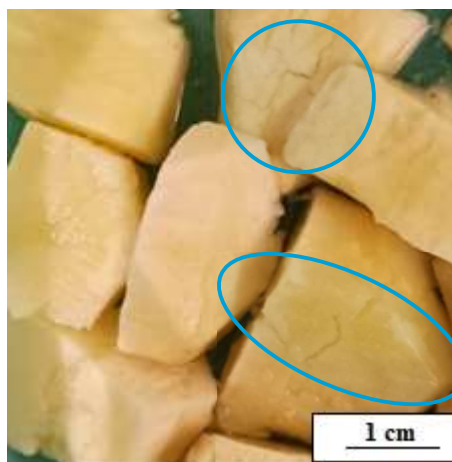
**53. ábra** Rehidratáció vizsgálat „Démon” fajta esetében 40°C-on



**54. ábra** Rehidratáció vizsgálat “Golden river” fajtajelölt esetében 40°C-on



**55. ábra** Rehidratáció vizsgálat “Hópehely” fajta esetében 40°C-on



**56. ábra** Rehidratáció vizsgálat “Somogyi kifli” fajta esetében 40°C-on

A képeket elemezve jól láthatók a fajták és fajtajelöltek közti különbségek. A Balatoni rózsza, a Démon, a Basa szerkezetén piros színnel jelölt nagy repedések láthatók és a szerkezete teljesen szétesett, míg az Arany chipke, Balatoni sárga és a Somogyi kifli megtartotta eredeti jellegét. A kék színnel jelölt Somogyi kifli felületén látható repedések a felülettől kb. 1 mm mélyen megálltak és a szerkezete stabil maradt. A fagyasztási folyamat jelentősen befolyásolja a liofilizált szilárd anyagok szerkezetét, pórusméretüket, membránvastagságukat és a pórusok közötti "üregekben" lévő szilárd anyagok térfogatát (Harnkarnsujarit, és mtsai. 2012b).

Különböző hőmérsékleten rehidratált burgonyamintákon öt katona bevonásával érzékszervi vizsgálatot végeztem. A vizsgálat során csak a szájbán 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 ízeleés a rehidratáció során 2, 4, 6, 8 és a 10 percben történt. Az eredményeket a 21-23. táblázat tartalmazza.

**21. Táblázat:** 30°C-on rehidratált fagyasztva szárított főtt burgonya konzisztenciája

Fajta/ fajta jelölt	Értékelés				
	2'	4'	6'	8'	10'
14,21	3	5	4	4	4
Arany chipke	5	5	6	6	7
Balatoni rózsza	8	7	4	2	2
Balatoni sárga	6	6	7	8	8
Basa	5	5	6	6	7
Démon	4	4	4	3	3
Golden river	5	5	5	4	4
Hópehely	3	3	4	5	4
Somogyi kifli	6	7	7	8	8

**22. Táblázat:** 40°C-on rehidratált fagyasztva szárított főtt burgonya konzisztenciája

Fajta/ fajta jelölt	Értékelés				
	2'	4'	6'	8'	10'
14,21	3	5	4	4	5
Arany chipke	5	5	6	7	7
Balatoni rózsza	5	5	4	2	1
Balatoni sárga	6	6	7	8	8
Basa	5	6	6	7	7
Démon	4	5	4	4	5
Golden river	4	4	5	4	5
Hópehely	3	4	4	5	5
Somogyi kifli	7	8	8	8	9

**23. Táblázat:** 50°C-on rehidratált fagyasztva szárított főtt burgonya konzisztenciája

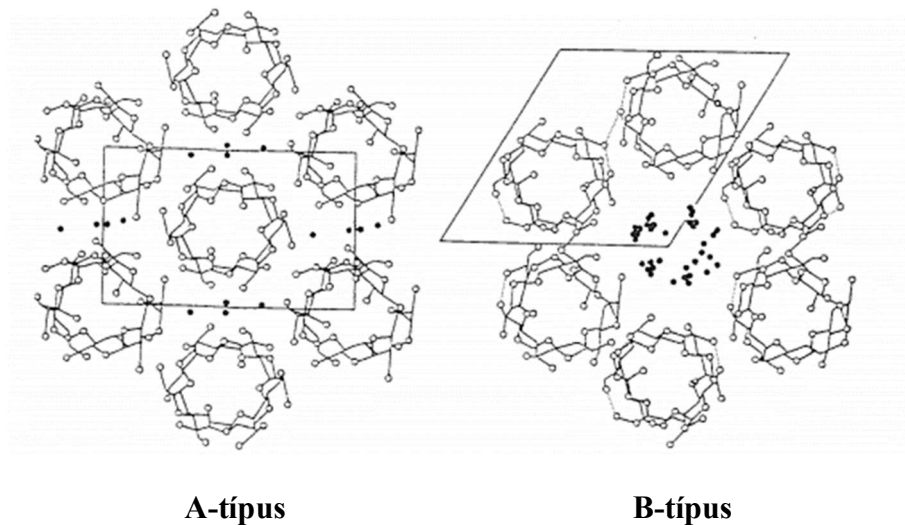
Fajta/ fajta jelölt	Értékelés				
	2'	4'	6'	8'	10'
14,21	3	5	4	4	5
Arany chipke	5	6	7	7	7
Balatoni rózsza	7	6	4	3	1
Balatoni sárga	6	6	7	8	9
Basa	5	6	6	7	7
Démon	4	5	4	4	4
Golden river	4	5	5	4	4
Hópehely	3	3	4	5	5
Somogyi kifli	8	8	9	9	9

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 (9. táblázat) ezen fajtáknak volt a legmagasabb a szárazanyagra számolt fehérje tartalma (Balatoni sárga 12,36 g/100g, Somogyi kifli 13,44 g/100g).

Burgonyapüré esetén a 0,8-as nedvességtartalomhoz számolt rehidratációhoz szükséges víz mennyisége soknak bizonyult a rehidratációs próba során, a burgonyapüré hígabb, vizes jellegű maradt, így azt 0,7-es nedvességtartalomhoz kalkulált rehidratációhoz szükséges víz mennyiségével terveztem a továbbiakban.

A burgonyafehérjék vízmegkötő képessége döntő fontosságú a fehérje koagulátumok előállítása során. A különböző szárítási módszerek, mint például a dobszárítás, a permetszárítás és a fagyasztva szárítás, jelentősen javították ezt a képességet. Különösen a fagyasztva szárítás hozott kivételes eredményeket a pH-tól függően (Knorr 1982). Tüfekci és munkatársai 2023-ban összefüggést írtak le a szárítási hőmérséklet és a rehidratálás sebesség között. Különböző hőmérsékleten és különböző módszerekkel (mikrohullámú, hagyományos) szárított édesburgonya rehidratációjának sebességét vizsgálták. Megállapították, hogy egy bizonyos hőmérséklet felett a rehidratálás sebessége csökkent a növényi szövetek gyors és drasztikus zsugorodása miatt, ami megakadályozza a teljes rehidratációt. A dehidratáció során fellépő szöveti zsugorodáson túl még a keményítő típusa is hatással van a rehidratációra. A keményítők

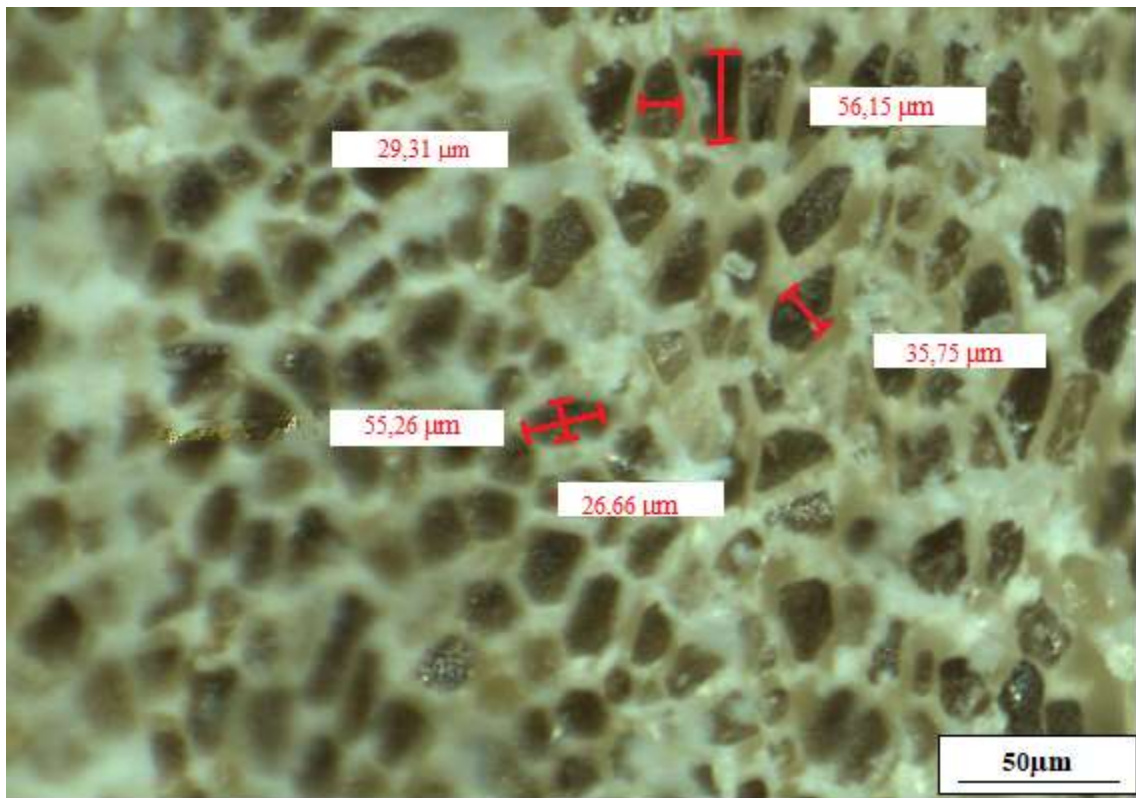
két típusba, „A” és „B” típusba tartoznak. Az „A” -típusba tartoznak azok, amelyeknél az amilóz kör alakba rendeződő hélixek egy további kettős hélixet alkot, míg a „B” -típusba az amilóz a hélixek egy központi csatornát hoznak létre, ahova a vizet bezárják. A gabona amilóza az „A” típusba tartozik, míg a burgonya amilóza „B” típusba tartozik. „A” és „B” típus keveréke a borsó keményítője. A víz a rendszerben keményítőhöz integrálódott komponens. A típusok közti különbséget az 57. ábra szemlélteti.



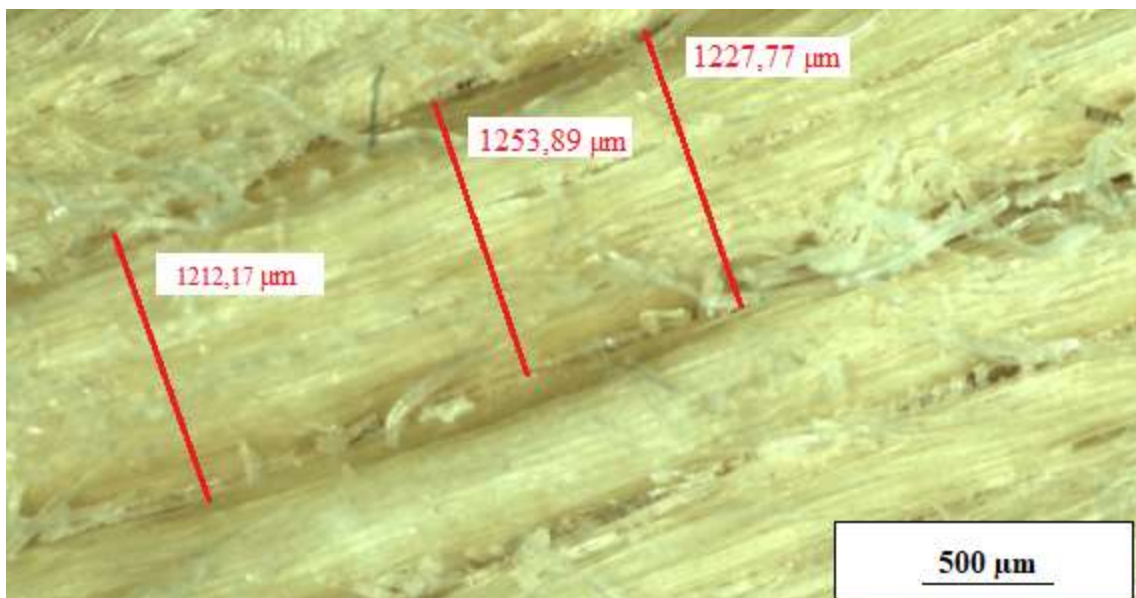
**57. ábra** „A” és „B” típusú keményítő szerkezeti különbsége (Galliard 1987)

Az „A” típusú amilóz felszíne vízmolekulákkal sűrűn fedett. Hevítéskor a „B” típusú amilóz a belsejébe a bezárt víz eltávozik és az amilóz átalakul „A” típusra, míg az „A” forma „B” formába alakulásakor előzetes víz forrása kell, amelybe a kristályos forma feloldódik (Qiao, és mtsai. 2017).

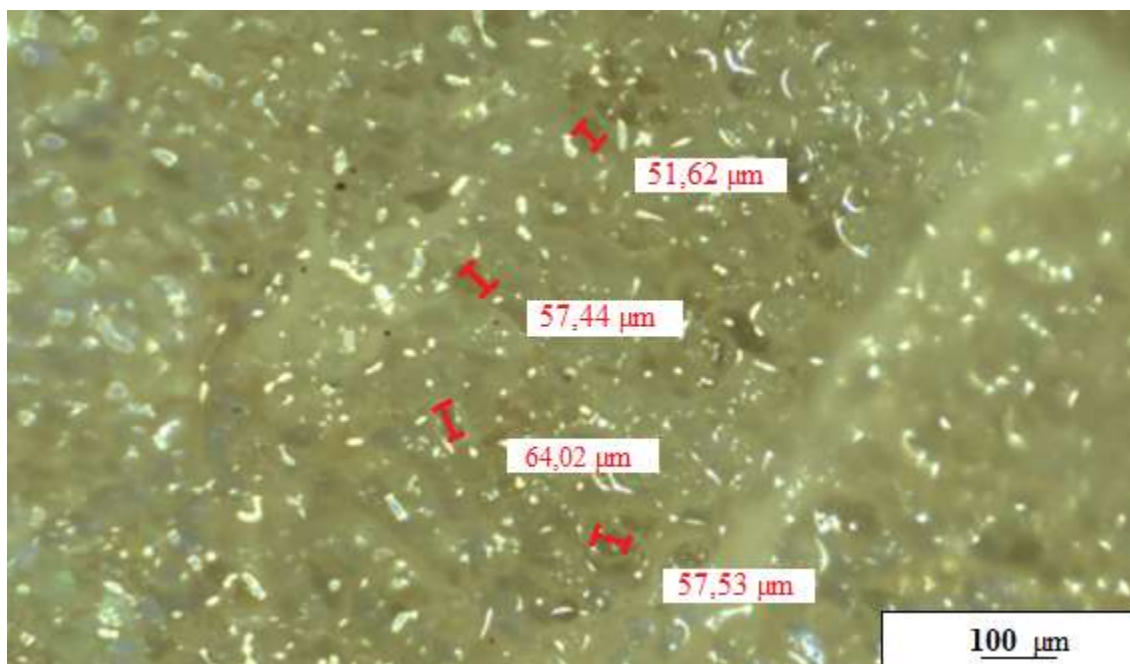
A főtt burgonya rehidratációs vizsgálatának a tapasztalatait összevetve a 11. táblázat eredményét érdekes tény, hogy a legkisebb és a legnagyobb keményítőszemcse méretével rendelkező fajták bizonyultak érzékszervileg előnyösnek. Az eredmények alapján megállapítható, hogy főtt burgonya esetében a fagyasztva szárított állapotban levő keményítő szemcse méretének nincs hatása a rehidratáció lezajlására, a szerkezeti stabilitásra és a minőségi jellemzőkre, de fontos megjegyezni, hogy előnyös ha főzés hatására kisméretű marad a keményítőszemcse mérete, mert feltételezhetően könnyebben rehidratálódik az amilóz és amilopektin aránya miatt ami pozitívan hozzájárul a burgonya összetett fehérje és keményítő rendszerének rehidratációval összefüggő összesített tulajdonságaihoz és a minőséget befolyásoló jellemzőihez.



**58. ábra** Fagyasztva szárított főtt sertéskaraj pórusainak mérete száraz állapotban



**59. ábra** Fagyasztva szárított főtt sertéskaraj hosszanti szerkezete száraz állapotban



**60. ábra** Fagyasztva szárított főtt sertéskaraj szerkezete és pórusainak mérete rehidratált állapotban

A sertéskaraj pórusai a rehidratálás során 25-35  $\mu\text{m}$  nagyságról 50-60  $\mu\text{m}$  duzzadtak.

Viszonylag kevés összehasonlító tanulmányt lehet fellelni az adatbázisokban a fagyasztva szárított húsok vagy készítmények alacsony hőmérsékleten és rövid idő alatt lejátszódó rehidratációjáról. Alacsony hőmérsékleten, hosszú idő alatt lejátszódó rehidratációt tanulmányozott több szerző is (Wyrwisz, és mtsai. 2019, Lee, és mtsai. 2021, Suden, és mtsai. 1964) vagy a magas hőmérsékleten lezajló folyamatokat (Ayrosa és Pitombo 2003). A kereskedelmi forgalomban fellelhető termékek rehidratációja forró vizet igényel. Szcześniak 1971-ben rehidratáció összehasonlító vizsgálatokat végzett fagyasztva szárított marhahús szeleteken 26°C-on és 82°C-on, azonban vizsgálatai nem terjedtek ki köztes hőmérséklet tartományra. A tanulmányában megjelent fényképekkel összehasonlítva saját vizsgálataim során készült képekkel (59. ábra) látható szerkezet jellege megegyezik, egységes és tömör. A 30°C-on mért állományvizsgálat eredményeimet megerősíti, hogy a tanulmány alapján 26°C-on végzett rehidratáció során nem volt szignifikáns különbség, nem volt korreláció a változók közt, hasonlóan, mint vizsgálataimban, de meg kell említeni a hús eredete közötti különbséget. Az eredményeim összhangban vannak Szcześniak 1971-ben élelmiszerkutató eredményeivel.

Marabi és munkatársai 2003-ban a Weibull-eloszlási modell segítségével értékelték a rehidratációs eredményeket, és arra a következtetésre jutottak, hogy a nagy porozitású termékek (fagyasztva szárított) esetében a kapillárisok méretétől függ a rehidratáló folyadék tömegárama, míg az alacsony porozitású (levegőn szárított) termékek esetében a diffúzió sebessége dominál rehidratáció során. Fontos megemlíteni az üvegátmenet tényét a rehidratációs körülmények tervezésekor. Az üvegátmenet jól ismert változás az amorf anyagok állapotában, ami a túlűtött folyadékok szilárd és folyadékszerű állapotának reverzibilis átalakulása. Az üvegátmenet egy folyadékra emlékeztető anyag hűtése során egy hőmérséklet tartományon belül megy végbe, ami üvegszerű anyaggá váló megszilárdulást eredményez, a vitrifikációt (Roos 2010). Ha a folyamat hőmérséklete magasabb, mint az anyag üvegesedési hőmérséklete az adott nedvességtartalom mellett, az összeomlás kockázata (azaz deformáció, póruscsökkenés stb.) jelentősen megnő (Khalloufi, és mtsai. 2000). A fentiek alapján speciális egyensúlyt kell kialakítani a kapillárisokon keresztül, hogy a rehidratáló folyadék megfelelő sebességgel áramoljon a termék belseje felé, hogy a kapillárisok ne legyenek eltömődve 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.

A rehidratációs vizsgálat eredményeit értékelve megállapítható, hogy a különböző burgonyafajták eltérően viselkedtek az azonos körülményű rehidratáció során, mely eltérés megjelent az érzékszervi vizsgálat során is. Előnyös tulajdonságokkal rendelkeztek a magas szárazanyag mennyiségre számolt fehérje tartalommal rendelkező fajták, mint a Somogyi kifli és a Balatoni sárga.

#### 4.8. Csapatpróba

2022 májusában a Magyar Honvédség Modernizációs Intézetének állományából 30 katona, tábori körülmények között végzett érzékszervi és alkalmazhatósági vizsgálatokat a Magyar Honvédség táborfalvai gyakorlóterén. A vizsgált étel lecsós sertéskaraj volt burgonyapürével. Az élelmiszer előkészítése során a lecsón bepárlást végeztem az eredeti tömeg 50%-ig, hogy csökkentsem a víztartalmat ezáltal a fagyasztva szárításához szükséges időt. Az előkészített mintákat a 61. ábra, a fagyasztva szárítást a 62. ábra mutatja.



61. ábra Fagyasztva szárításra előkészített nyersanyagok



62. ábra Fagyasztva szárításra előtt

Az előzményekben leírt módszer szerint a kezelés végével a mintákat kivettem és a lehető legrövidebb időn belül -0,1 bar nyomás alatt csomagoltam élelmiszer tárolásra alkalmas légszűrős vákuum tasakokba, kiadagolás szerint. Fagyasztva szárított élelmiszerből 1 adag 30 g karajból, 25 g lecsóból és 20 g burgonyapüréből állt, amely átszámítva nyersanyag mennyiségre 160 g sertéskarajnak (főzési veszteséggel), 100 g lecsónak és 100 g burgonyapürének felel meg.

A csomagolt élelmiszerekről a fényképet az 63. ábra mutatja



**63. ábra** Elkészített csomagok

Az ételek elkészítéséhez mellékeltem egy 2 dl-es műanyag poharat, amelyen vonallal jelöltem a rehidratációhoz szükséges víz mennyiségeket, külön jellel a hús-lecsó és külön jellel a burgonyapüré rehidratálásához szükséges víz mennyiségét.

A rehidratációhoz az alábbi felhasználási utasítást kapták a katonák:

1. Bontsa ki a csomagokat.
2. Öntse össze a húst a lecsóval, a burgonyapüré külön kezelendő, de ízlés szerint összeönthető.
3. A pohárba öntsön 40°C vizet jelig - a rehidratálni szándékozott élelmiszer szerint (ha egybeöntött minden élelmiszert akkor összesítve a szükségést).

4. Várjon 10 percet, közben kavargassa meg vagy mozgassa meg a tasakot többször, hogy minden pontján egyenletesen érje a folyadék.
5. 10 perc eltelté után az étel fogyasztható.

A katonák kaptak egy kérdőívet nyomtatvány formájában, amelyen 0-10-ig terjedő pontrendszer alapján pontozni kellett az étel színét, ízét, összhatását, véleménye szerint alkalmas-e katonai felhasználásra, rehidratációs idő hossza, rehidratációhoz szükséges hőmérséklet, szívesen fogyasztaná-e katonai élelmiszer csomagokba, mennyire hasonlít az étel az eredeti ételhez, illetve szövegesen is kifejthették véleményüket. A pontszámoknál a 0 a legrosszabb 10 pedig a legjobb értékelést jelöli.

A kérdőívet mindenki kitöltötte, a kapott pontok átlagolt eredménye az alábbiak voltak:

- 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: 7,2
- Mennyire hasonlít egy frissen elkészült ételhez: 7,6
- **Átlagos pontszám: 8,2**

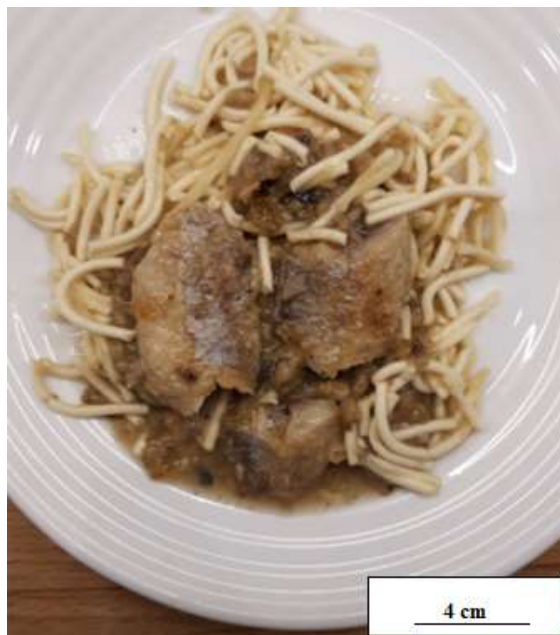
A csapatpróbának komplex összetett eredménye van, mert a terméket felhasználó és elfogyasztó katona véleménye döntő fontosságú. Az értékelés során kapott 8,2 átlagos pont egy felső kvartilisbe eső eredmény, ami mindenképpen pozitív értékelés és megerősítette, hogy a fagyasztva szárított élelmiszereknek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

#### 4.9. Elkészített rehidratált ételek fényképei

Az alábbi fejezetben bemutatásra kerülnek azon rehidratált fagyasztva szárított készételek, amelyeket a beszerzett alapanyagok felhasználásával készítettem. Az alapanyagokat külön kerültek fagyasztva szárításra. A rehidratálásuk 40°C-on 10 perc alatt történt.



64. ábra Lecsós sertésárja burgonyapürével



65. ábra Hering gombaszósban spagettivel



**66. ábra** Tejszínes gombás rizs



**67. ábra** Sertéspörkölt



68. ábra Smoothie



69. ábra Különböző fagyaszttva szárított élelmiszerek

## 5. 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 alábbi 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 készítmény 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 elengedhetetlenné teszi az antioxidánsok és a megfelelő csomagolótechnika 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.**

## 6. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Az elemtartalom vizsgálatok során szignifikáns különbségeket tapasztaltam a legtöbb ásványianyag mennyiségének tekintetében. Bár vizsgálataim csak a közepes szemű barna lencsére terjedtek ki, de az adatbázisokban fellelhető adatokkal összehasonlítva a kapott eredmények szerinti meglehetősen sok különbség okot ad a további vizsgálatok időszerűségére más nyersanyagok esetében is. A megváltozott tápanyag mennyiségek és arányok egy izolált étkeztetés esetén, mint a katonai harctéri étkeztetés hosszútávon ásványanyag egyensúlyhiányt eredményezhetnek a fogyasztó szervezetében, ha nem kerül megfelelően ellensúlyozásra, de ahhoz ismerni kell a kiinduló értékeket. Az eredményeim alapján szükségesnek találom a speciális igényeket kielégítő katonai étrendtervezéseket megelőzően az alapanyagok táp és elemtartalmának vizsgálatát, illetve az élelmiszerbeszerzési eljárások specifikusabbá tételét azzal, hogy jelenjen meg, mint minőségi követelmény egy alapanyag esetében a kívánt táp és elemtartalma is. Mérési eredményeim alapján továbbá javaslom az iránymutató adatbázisokban közölt adatok időszakos frissítését, illetve a honvédségi élelmiszerbeszerzési eljárások követelményeinek a szélesebb kiterjesztését a tápanyagtartalomra vonatkozóan.

Sertéshús esetén ajánlatos az általam használt dimenziójú hús méretet és az általam használt előkészítési módot alkalmazni, mert alkalmas volt az előállított termék 40°C-on 10 percen belüli rehidratációra, oly módon, hogy az állománya egyezett a normál körülmények közt készült húséval. További vizsgálatok szükségesek még, más alapanyagok esetében a hús jellegének megfelelő dimenzió és előkészítési mód megállapítására, ami alkalmassá tesz egy terméket az alacsony hőmérsékleten és viszonylag rövid idő alatt történő rehidratációra. A csapatpróba során a katonák összességében pozitívnak értékelték a készített terméket és elképzelhetőnek gondolták a harc vagy gyakorlótéren történő élelmezési ellátásra alkalmazását. A teljes alkalmazhatósághoz a rehidratációhoz víz kimérésének gyakorlatiasabbá tétele szükséges, és a 40°C-ra melegítés pedig technikai fejlesztést igényel, amelyhez valamely exoterm kémia reakció biztonságos alkalmazását javaslom.

A fagyasztva szárított főtt burgonya fajtaválasztása során a vizsgálataim alapján ajánlatos a magas szárazanyagra számított fehérjetartalmú fajtákat, főtt állapotban kis keményítőszemcséjű, alacsony redukáló cukor tartalommal rendelkező fajtákat előnybe

részesíteni. Ezen fajták pozitív tulajdonságokkal rendelkeztek a gyakorlati alkalmazhatóság szempontjából. Stabil szerkezetet mutattak a tárolás szempontjából és a legjobban hasonlítottak az eredeti főtt burgonya fogyasztás közbeni, a szájban kialakuló érzéshez. A színmézes során a statisztikai eredményekből eredő jelentős kapcsolatok alkalmasak előzetes értékelésekre különböző fajták alkalmazhatóságával kapcsolatban. Fontos megjegyezni, hogy az eredmények az általam vizsgált mintákra igazak, de több ezer burgonyafajtát ismerünk. A teljes bizonyossággal történő kijelentéshez további, az eredményeimet megerősítő vizsgálatok szükségesek, elsősorban általános, nem magas színanyag tartalomra nemesített fajtákon azonban a kutatás során feltárt korrelációk jó alapot biztosítanak azon burgonya fajták meghatározásához, melyek alkalmasak nagyobb dimenziójú mérethez és főtt állapotba a fagyasztva szárítás technológiával történő tartósításra, illetve fontos információval szolgálnak a mezőgazdasági nemesítők számára a céltermelés megvalósításához. A vizsgálataim alapján a vizsgált fajta, illetve jelöltek közül a Somogyi kifli burgonya fajtát ajánlott alkalmazni a fagyasztva szárított főtt burgonya előállításánál.

A kutatás kezdetekor az alábbi célokat állítottam melyeket összefoglalva hozzáfűzöm az elért eredményeket:

- A magyar katonák számára megfelelő tápanyagtartalommal rendelkezzen.
  - A kutatás az nyersanyagok táp- és elemtartalom mennyiségének a tápanyagtáblázatokban fellelhető adatok összehasonlításával kezdtem. Jelentős eltéréseket tapasztaltam, melyek szükségessé teszik az adatbázisok frissítését. Az ajánlott tápanyagtartalommal kapcsolatban közlemény formájában ajánlatot tettem, a Magyar Honvédség szaklapjába megjelentetve.
- Eltartható legyen legalább 45°C tárolási hőmérsékleten.
  - A termék eltarthatóságát mikrobiológiai szempontból a mikroorganizmusok életfeltétele határozza meg. Az általam készített fagyasztva szárított termékek  $a_w$  értéke 0,1 volt, amelyen a szakirodalmi adatok alapján nem teljesül a mikroorganizmusok számára az életfeltétel, tehát a termék eltartható lesz a kívánt hőmérsékleten. Az eltarthatósághoz, hozzá tartozik a kémiai és fizikai stabilitás. A kémiai stabilitást későbbi pontban tárgyalom. A fizikai

stabilitás vizsgálat során az állati eredetű nyersanyagok esetében nem leltem fel szerkezeti változást, de a növényi nyersanyagok vizsgálata során a főtt burgonya szenvedte el a legnagyobb szerkezeti változást, melyre tápanyagtartalom és fajta tekintetében tettem javaslatot az alkalmasnak vélt tulajdonság tekintetében.

- Legalább 3 év minőség megőrzési idővel rendelkezzen.
  - A stabilitási diagramm, a szakirodalmi adatok és méréseim alapján a legnagyobb károsító tényező a zsírok oxidációjának lejátszódása és a folyamat relatív gyorsulása. A kiküszöbölésre megtettem az antioxidáns és a megfelelő csomagolásra vonatkozó javaslatot.
- Ne igényeljen 10 percnél hosszabb előkészületet a fogyasztása.
  - Teljesítettem ezt a kritériumot a 40°C és 10 perces rehidratálási idők eredményei alapján.
- Alkalmas legyen harctéri élelmezésre.
  - Az alacsony rehidratációs hőmérséklet, a könnyű tömeg és az extrém körülmények közti eltarthatóság alkalmassá teszi a terméket katonai felhasználásra.
- Jelentősen ne változzon az étel élvezeti értéke.
  - A csapatpróba során a termék összesített ékelését tekintve 0-10 pontig terjedő skálán 8,2 pontra értékelt a résztvevő személyi állomány. Az általam kidolgozott előkészítési mód és alapanyag optimális és kiegyensúlyozott rehidratációt eredményez, amely által sertéskaraj esetében elértem a kontrollminták állományát (C1; C2; C3). Meglátásom szerint ez teljesíti a kívánt kritériumot, mint új típusú élelmiszer.
- Feleljen meg a katonai logisztikai igényeknek.
  - A könnyű tömege, a szerkezeti stabilitása, a nem speciális tárolási igények a jelenlegi NATO logisztikai elveknek megfelelnek.

## 7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

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 vizsgálata során.
6. A csapatpróba eredményei alapján a fagyasztva szárított készételek összetevőit, alapanyagait és jellemzőit, elsődlegesen a megfelelő rehidratációra kell méretezni és tervezni.

## 8. GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK

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 növénynemesítők 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.

## 9. ÖSSZEFOGLALÁS (magyar nyelven)

A fagyasztva szárított élelmiszereket a katonai élelmiszer csomagokban az USA hadserege a 60-as és 80-as években alkalmazta. A beszámolók szerint a nem megfelelő rehidratáció okozott minőségi problémákat. A katonai élelmiszercsomagokban történő alkalmazásuk mindenféleképp előnyös egy haderő számára az ismert problémák kiküszöbölésével. Kutatásom célja tartós élelmiszerek tartósító eljárásának tervezése, amely által az elkészült termék alkalmas a modern katonai felhasználásra. Az élelmiszerek és alapanyagok közül részletesen vizsgáltam a közepes szemű barna lencse táp- és elemtartalmát, a fagyasztva szárított sertéshús és a burgonya tulajdonságait, állomány- és színváltozását. Az alkalmazhatóságának feltételeit az USA Védelmi Logisztikai Ügynöksége előírásai alapján határoztam meg, mint 10 percen belül fogyaszthatóvá tétel. A könnyebb harctéri biztosíthatóság érdekében a rehidratáció maximális hőmérsékletét 50°C-ban határoztam meg. Tárolás közbeni szerkezeti stabilitás vizsgálatot és a katonai csapatpróba is végre lett hajtva a Magyar Honvédség személyi állományának közreműködésével.

Táp és elemtartalom vizsgálataim során a kereskedelmi forgalomban vásárolható közepes szemű barna lencsét elemeztem és beltartalmát hasonlítottam össze a világ nagy szervezetei által és a Magyarországon közzétett tápanyag adatbázisok adataival. A vizsgálat eredményeként a legtöbb elemtartalom esetében szignifikáns különbségeket tapasztaltam, a kereskedelmi forgalomban vásárolható élelmiszer és a tápanyag adatbázisokban közölt adatok közt. Az eredmények alapján javaslom a megfelelő specifikus tervezést megelőző alapanyagvizsgálatok elvégzését és a katonai élelmiszeralapanyag beszerzési eljárásokhoz kapcsolódóan a minőségi követelmények kiegészítését a tápanyag mennyiségi igényekkel, illetve az adatbázisokban szereplő adatok frissítését.

Fagyasztva szárított sertéshús esetén meghatároztam, hogy a felhasználás szempontjából só és adalékanyag mentes csapvízben 120°C-on főtt 1,27x1,27 cm keresztmetszetű, hosszanti izomrost szerkezetű sertéskarajt ajánlott alkalmazni. A javaslataim szerint elkészített főtt karaj esetében 40°C-on 10 perces rehidratáció után elérhető az állományvizsgálatok (WBSF) alapján a 80°C-os hagyományos eljárással főtt hús állománya. Méréseim során megállapítottam, hogy erős függő ( $R^2=0,976$ ) kapcsolat van 40°C-on történő rehidratáció során az állomány keménysége és a rehidratációhoz

szükséges idő közt. A vizsgálatok eredményei alapján ez a hőmérséklet a sertéskaraj üvegesedési hőmérséklete alatt van, ami a szerkezet összeomlását eredményezi, elég alacsony ahhoz, hogy az élelmiszer külsőjén levő sejtek hirtelen duzzadása lévén ne zárják el a rehidratációhoz nélkülözhetetlen kapillárisokat, de ugyan akkor elegendő a folyadék entalpiája az egyenletes rehidratáció végbemenetelére.

Az avasodással kapcsolatos vizsgálatok során megállapítottam az antioxidánsok alkalmazásának szükségességét, és a vízáktivitás mérések során pedig a termék várható stabilitását.

Fagyasztva szárított főtt burgonyán digitális képanalízis vizsgálatai során megállapítottam, hogy keményítő szemcsék mérete és a nyers burgonya szárazanyagtartalma közt markáns ( $r=-0,895$ ) kapcsolat van. Színmérések során megállapítottam, hogy több esetben jelentős vagy markáns a kapcsolat a különböző technológiai állapotban levő burgonya színe és a szárazanyag mennyiségre számolt tápanyagmennyiségek közt. A szerkezeti stabilitás vizsgálatok során meghatároztam, hogy a burgonya szárazanyagra számolt fehérjetartalma és a szerkezeti stabilitása közt markáns kapcsolat ( $r=-0,828$ ) van. A főkomponens elemzés eredménye alapján megállapítható, hogy a magas szárazanyagra vonatkoztatott fehérjetartalom túl a nyers és főtt állapotban levő burgonya színmérés 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. A fentiek alapján kiválasztható mely burgonya fajták alkalmasak főtt állapotban fagyasztva szárítással történő tartósításra, és eredményeim információval szolgálnak a mezőgazdasági céltermelés megvalósításához.

A katonai csapatpróba során a résztvevő személyi állomány átlagosan 8,2 pontra (0-10) értékelte az általam készített élelmiszereket, amely pozitív az állomány elfogadása szempontjából, és biztos alapot nyújt az alkalmazhatóságra, a további fejlesztések és vizsgálatok legitimitására.

A kutatásom összefoglalva a fagyasztva szárítás technológia alkalmazásával előállított készételek alkalmasak a katonai harctéti élelmezés biztosítására, a fenti eredmények figyelembevételével.

## 10. ÖSSZEFOGLALÁS (angol nyelven)

Freeze-dried food in military food packages was used by the US military in the 1960s and 1980s. It is reported that inadequate rehydration caused quality problems. Their use in military food packages is definitely beneficial to a military force by eliminating known problems. The aim of my research is to design a preservation process for durable foods, whereby the resulting product is suitable for modern military use. Among the foods and raw materials, I have investigated in detail the nutritional and elemental properties of medium grain brown lentils, freeze-dried pork and potatoes, and their stock and colour changes. I have defined the conditions of its applicability based on the US Defense Logistics Agency's specifications as ready-to-eat within 10 minutes. For ease of field assurance, I set the maximum temperature for rehydration at 50°C. During storage, a structural stability test and military team test were also performed with the assistance of Hungarian Army personnel.

In my nutrient and elemental analyses, I analyzed commercially available medium grain brown lentils and compared their content with the nutrient databases published by major organizations worldwide and in Hungary. As a result, I found significant differences in most elemental contents between commercially available food and nutrient database data. On the basis of the results, I recommend that nutrient analyses be carried out prior to appropriate specific planning and that the quality requirements for military food procurement procedures be supplemented with nutrient quantity requirements and the data in the databases be updated.

In the case of freeze-dried pork, I have determined that the recommended use is pork loin of 1.27x1.27 cm cross-section, cooked in salt and additive-free tap water at 120°C, with a longitudinal muscle fiber structure. For cooked pork loin prepared according to my recommendations, the stocking rate of meat cooked by the conventional method at 80°C can be achieved after 10 minutes of rehydration at 40°C based on stocking tests (WBSF). In my measurements, I found that there is a strong dependent relationship ( $R^2=0.976$ ) between stock hardness and rehydration time during rehydration at 40°C. The results show that this temperature is below the glass transition temperature of pork chops, which results in structural collapse, low enough to prevent the sudden swelling of the cells on the outside of the food from blocking the capillaries essential for rehydration, but at the same time sufficient enthalpy of fluid to allow uniform rehydration to take place.

I determined the need for antioxidants in the acidification studies and the expected stability of the product in the water activity measurements.

In digital image analysis studies on freeze-dried cooked potatoes, I found a significant ( $r=-0.895$ ) relationship between starch granule size and dry matter content of raw potatoes. In colour measurements, I found that in several cases there was a significant or marked relationship between the colour of potatoes in different technological states and the amount of nutrients per dry matter. In structural stability tests, I determined that there is a significant relationship ( $r=-0.828$ ) between protein content per dry matter and structural stability of potatoes. Based on the results of principal component analysis, it can be concluded that in addition to high protein content on dry matter, the results of potato colour measurement in raw and cooked state can be used to determine the appropriate potato variety properties. My results show that potato varieties with the right high structural stability have high protein content, lower  $L^*$  and higher  $b^*$ . Based on the above, it is possible to select which potato varieties are suitable for preservation by freeze-drying in cooked state, and my results provide information for the realization of target agricultural production.

During the military team trial, the participating personnel rated the food I prepared with an average score of 8.2 (0-10), which is positive in terms of acceptance by the personnel and provides a solid basis for applicability and legitimacy for further development and testing.

In summary, my research concluded that the prepared foods produced using freeze-drying technology are suitable for military combat food supply, taking into account the above results.

## 11. IRODALOM (felhasznált irodalom)

1. 2R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2022.
2. *Ádám, V. – Dux, L. – Faragó, A. – Fésüs, L. – Machovich, R. – Mandl, J. – Sümegi, B.*: 2006. Orvosi biokémia. Medicina Könyvkiadó Budapest 180-182.
3. *Adams, G.*: 2007. The Principles of Freeze-Drying. In J. S. Day, Cryopreservation and Freeze-Drying Protocols. *Methods in Molecular Biology*. 368: 15-38.
4. *Afman, L. – Müller, M.*: 2006. Nutrigenomics: from molecular nutrition to prevention of disease. *Journal of the American Dietetic Association*. 106. 4: 569-576.
5. *Ahmed, N. – Singh, J. – Chauhan, H. – Anjum, P. G. – Harleen, K.*: 2013. Different Drying Methods: Their Applications and Recent. *International Journal of Food Nutrition and Safety*. 4. 1: 34-42.
6. *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.
7. AMSA.: 2015. Research guidelines for cookery, sensory evaluation, and instrumental tenderness measurements of meat. American Meat Science Association.
8. *Ansari, K. – Jha, A.*: 2002. Causes of cancer in the world: comparative risk assessment of nine behavioral and environmental risk factors. *Cureus*. 14. 9: 28875.
9. *Arvanitoyannis, I. S. – Vaitisi, O. – Mavromatis, A.*: 2008. Physico-chemical and sensory attributes in conjunction with multivariate analysis of two potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars after 90 days of storage: an exploratory authentication study. *International journal of food science & technology*. 43. 11: 1960-1970.
10. *Arya, S. S. – Natesan, V. – Parihar, D. B. – Vijayaraghavan, P. K.*: 1979. Stability of carotenoids in dehydrated carrots. *International Journal of Food Science & Technology*. 14. 6: 579-586.
11. *Assegehegn, G. – Brito-de la Fuente, E. – Franco, J. M. – Gallegos, C.*: 2019. The importance of understanding the freezing step and its impact on freeze-drying process performance. *Journal of pharmaceutical sciences*, 108. 4: 1378-1395.
12. *Ayrosa, A. M. – Pitombo, R. N.*: 2003. Influence of plate temperature and mode of rehydration on textural parameters of precooked freeze-dried beef. *Journal of Food processing and preservation*. 27. 3: 173-180.
13. *Bakaloudi, D. R. – Halloran, A. – Rippin, H. L. – Oikonomidou, A. C. – Dardavesis, T. I. – Williams, J. – Wickramasinghe, K. – Breda, J. – Chourdakis, M.*: 2021. Intake and adequacy of the vegan diet. A systematic review of the evidence. *Clinical Nutrition*. 40. 5: 3503-3521.

14. *Baltes, W.*: 2013. Lebensmittelchemie. Springer-Verlag.
15. *Bao, H. – Zhou, J. – Yu, J. – Wang, S.*: 2021. Effect of drying methods on properties of potato flour and noodles made with potato flour. *Foods*. 10. 5: 1115.
16. *Belitz, H.-D. – Grosch, W. – Schieberle, P.*: 2008. Food chemistry. Springer Science & Business Media.
17. *Bell, L. N.*: 1995. Kinetics of non-enzymatic browning in amorphous solid systems: distinguishing the effects of water activity and the glass transition. *Food Research International*. 28. 6: 591-597.
18. *Bertoft, E.*: 2017. Understanding starch structure: Recent progress. *Agronomy*. 7: 56
19. *Beuchat, L. R. – Komitopoulou, E. – Beckers, H. – Betts, R. P. – Bourdichon, F. – Fanning, S.*: 2013. Low water activity foods: increased concern as vehicles of foodborne pathogens. *Journal of food protection*. 76. 1: 1550-172.
20. *Beuchat, L. R.*: 1981. Microbial stability as affected by water activity [Bacteria, fungi, spoilage]. *Cereal Foods World (USA)*. 26: 7.
21. *Bhatta, S. – Janezic, T. S. – Ratti, C.*: 2020. Freeze-Drying of Plant-Based Foods. *Foods*. 9. 1: 87.
22. *Bird, K.*: 1963. Freeze-Dried Foods: Palatability Tests. Washington, DC, USA: U.S. Dept. Of Agriculture, Economic Research Service, Marketing Economics Division.
23. *Bíró, G.*: 2002. Élelmiszer-higiéniá. Budapest: Agroinform Kiadó És Nyomda Kft.
24. *Bonnie, T. – Choo, Y.*: 1999. Oxidation and thermal degradation of carotenoids. *Journal of oil palm research*. 11. 1: 62-78.
25. *Boros, L. G. – Seneff, S. – Lech, J. C. – Túri, M. – Répás, Z.*: 2024. Summiting Mount Everest in deuterium depleting nutritional ketosis without supplemental oxygen. *Medical Hypotheses*. 111290.
26. *Brock, C. – Geier, U. – Greiner, R. – Olbrich-Majer, M. – Fritz, J.*: 2019. Research in biodynamic food and farming – a review. *Open Agriculture*. 1. 743-757.
27. *Buzera, A. – Gikundi, E. – Orina, I. – Sila, D.*: 2022. Effect of pretreatments and drying methods on physical and microstructural properties of potato flour. *Foods*. 11. 4: 507.
28. *Cai, C. – Lin, L. – Man, J. – Zhao, L. – Wang, Z. – Wei, C.*: 2014. Different structural properties of high-amylose maize starch fractions varying in granule size. *Journal of agricultural and food chemistry*. 62. 48: 11711-11721.
29. *Calder, P. C., – Grimble, R. F.* 2002. Polyunsaturated fatty acids, inflammation and immunity. *European journal of clinical nutrition*. 56. 3: 14-19.

30. Calder, P. C.: 2006. Polyunsaturated fatty acids and inflammation. *Prostaglandins, leukotrienes and essential fatty acids*. 75. 3: 197-202.
31. Cama-Moncunill, R. – Cafferky, J. – Augier, C. – Sweeney, T. – Allen, P. – Ferragina, A. – Sullivan, C. – Cromie, A. – Hamill, R. M.: 2020. Prediction of Warner-Bratzler shear force, intramuscular fat, drip-loss and cook-loss in beef via Raman spectroscopy and chemometrics. *Meat Science*. 167: 108157.
32. Campoy, C. – Escolano-Margarit, M. – Anjos, T. – Szajewska, H. – Uauy, R.: 2012. Omega 3 fatty acids on child growth, visual acuity and neurodevelopment. *British Journal of Nutrition*. 107. 2: 85-106.
33. Cantalejo, M. J. – Zouaghi, F. – Pérez-Arnedo, I.: 2016. Combined effects of ozone and freeze-drying on the shelf-life of Broiler chicken meat. *LWT-Food Science and Technology*. 68: 400-407.
34. Chen, C. – Etemadi, F. – Franck, W. – Franc, S. – Abdelhamid, M. T. – Ahmadi, J. – Assen, Y. M. – Lamb, P. – Miller, J. – Carr, P. M. – McPhee, K. – Zhou, Y. – Torabian, S. – Qin, R.: 2022. Evaluation of environment and cultivar impact on lentil protein, starch, mineral nutrients, and yield. *Crop Science*. 62. 2: 893-905.
35. Chipault, J. R. – Hawkins, J. M.: 1971. Lipid autoxidation in freeze-dried meats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 19. 3: 495-499.
36. Chirife, J. – Buera, M. D.: 1994. Water activity, glass transition and microbial stability in concentrated/semimoist food systems. *Journal of Food Science*. 59. 5: 921-927.
37. Chirife, J.: 1994. Specific solute effects with special reference to *Staphylococcus aureus*. *Water in Foods*. 409-419.
38. Chung, H. J. – Li, X. Q. – Kalinga, D. – Lim, S. T. – Yada, R. – Liu, Q.: 2014. Physicochemical properties of dry matter and isolated starch from potatoes grown in different locations in Canada. *Food research international*. 57. 89-94.
39. Ciurzyńska, A. – Lenart, A.: 2016. Effect of the aerated structure on selected properties of freeze-dried hydrocolloid gels. *Agrophys*. 30: 9-17.
40. Claesson M.J. – Jeffery I.B. – Conde S. Power S. – O'Connor E. – Cusack S. – Harris H. – Coakley M. – Lakshminarayanan B. – O'Sullivan O. – Fitzgerald G. – Deane J. – O'Connor M. – Harnedy N. – O'Connor K. – O'Mahony D. – Sinderen D. – Wallace M. – Brennan L. – Stanton C. – Marchesi J. – Fitzgerald A. – Shanahan F. – Hill C. – Ross P. – O'Toole P.: 2012. Gut microbiota composition correlates with diet and health in the elderly *Nature*. 488: 178-184
41. CNF: 2015. Health Canada. Forrás: Canadian Nutrient File: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/food-nutrition/healthy-eating/nutrient-data.html>

42. Connel, J. J.: 1957. Some aspects of the texture of dehydrated fish. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 8. 9: 526-537.
43. Copeland, L. – Blazek, J. – Salman, H. – Tang, M. C.: 2009. Form and functionality of starch. *Food hydrocolloids*. 23. 6: 1527-1534.
44. Corcuff, J. B. – Merched, A. J.: 2016. Nutrigenomics and Nutrigenetics: The Basis of Molecular Nutrition. *Molecular Basis of Nutrition and Aging*. 21-29.
45. Cottin, S. C. – Sanders, T. A. – Wall, W. L.: 2011. The differential effects of EPA and DHA on cardiovascular risk factors. *Proceedings of the Nutrition Society*. 70. 2: 215-231.
46. Cottrell, J. E. – Duffus, C. M. – Paterson, L. – Mackay, G. R.: 1995. Properties of potato starch: Effects of genotype and growing conditions. *Phytochemistry*. 40: 1057-1064
47. De la Guardia, M. – Garrigues, S.: 2015. Handbook of mineral elements in food. John Wiley & Sons.
48. Dennison, D. – Kirk, J. – Bach, J. – Kokoczka, P. – Heldman, D.: 1977. Storage stability of thiamin and riboflavin in a dehydrated food system 1. *Journal of Food Processing and Preservation*. 1. 1: 43-54.
49. Destefanis, G. – Brugiapaglia, A. – Barge, M. – Molin, D. E.: 2008. Relationship between beef consumer tenderness perception and Warner–Bratzler shear force. *Meat Science*. 78. 3: 153-156.
50. Dethlefsen, L. – Huse, S. – Sogin, M.L. – Relman, D.A.: 2008. The pervasive effects of an antibiotic on the human gut microbiota, as revealed by deep 16S rRNA sequencing. *PLoS Biol*. 6: 280
51. Dhital, S. – Shrestha, A. – KHasjim, J. – Gidley, M. J.: 2011. Physicochemical and structural properties of maize and potato starches as a function of granule size. *Journal of agricultural and food chemistry*. 18: 10151-10161.
52. Dhull, S. – Kinabo, J. – Uebersax, M.: 2023. Nutrient profile and effect of processing methods on the composition and functional properties of lentils *Lens culinaris* Medik. *Legume Science*. 5. 1: 156.
53. 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.
54. Dinan, T. G. – Cryan, J. F.: 2017. Brain-gut-microbiota axis and mental health. *Psychosomatic medicine*. 79. 8: 920-926.
55. Dincer, I.: 2017. Refrigeration systems and applications. John Wiley & Sons.
56. Djekic, I. – Tomic, N. – Bourdoux, S. – Spilimberg, S. – Smigic, N. – Udovicki, B. – Hoflan, G. – Devlieghere, F. – Rajkovic, A.: 2018. Comparison of three types of

- drying (supercritical CO<sub>2</sub>, air and freeze) on the quality of dried apple—Quality index approach. *LWT-Food Science and Technology*. 94, 64-72.
57. DLA.: 2020. The Nation's Combat Logistics Support Agency, USA. Forrás: <https://www.dla.mil/Portals/104/Documents/TroopSupport/Subsistence/Rations/pcrs/misc/dehybib/b053b.pdf>
  58. Dong, W. – Hu, R. – Long, Y. – Li, H. – Zhang, Y. – Zhu, K. – Chu, Z.: 2019. Comparative evaluation of the volatile profiles and taste properties of roasted coffee beans as affected by drying method and detected by electronic nose, electronic tongue, and detected by electronic nose, electronic tongue, and HS-SPME-GC-MS. *Food Chemistry*. 272: 723-731.
  59. Drapron, R.: 1985. Enzyme activity as a function of water activity. *Properties of Water in Foods*. 171-190.
  60. Duvall, M. G. – Levy, B. D.: 2016. DHA-and EPA-derived resolvins, protectins, and maresins in airway inflammation. *European journal of pharmacology*. 785: 144-155.
  61. Elmadfa, I. – Leitzmann, C.: 2004. Ernährung des Menschen. 4. korrigierte und aktualisierte Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.
  62. Ertekin, C. – Yaldiz, O.: 2004. Drying of Eggplant and Selection of a Suitable Thin Layer Drying Model. *Journal of Food Engineering*. 63: 349-359.
  63. Fábry György 1997. Élelmiszeripari eljárások és berendezések, Mezőgazda kiadó Budapest 601-607
  64. FAO: 2012. West African Food Composition Table. Letöltés dátuma: 2023. 03. 21, forrás: <http://www.fao.org/docrep/015/i2698b/i2698b00.pdf>
  65. FAO: 2017 a. Global Food Composition Database For Pulses. Version 1.0—UPulses 1.0. FAO. Letöltés dátuma: 2023. 03. 21, forrás: <https://www.fao.org/publications/card/en/c/8c492fec-366e-4c0d-a2b9-50cf194856f2>
  66. FAO: 2017 b. Global database for pulses on dry matter basis. Version 1.0 - PulsesDM1.0. Letöltés dátuma: 2023. 03. 21, forrás: <https://www.fao.org/infoods/infoods/tables-and-databases/faoinfoods-databases/en>
  67. FAO: 2019. FAO/INFOODS Food Composition Table for Western Africa. Letöltés dátuma: 2023. 03. 21, forrás: <https://www.fao.org/3/ca7779b/CA7779B.PDF>
  68. Fatima, K. – Ganie, S. – Kumar, Y. – Masoodi, T. – Shah, A.: 2018. Effect of organic and inorganic fertilizer doses on growth and yield of lentil under cold arid conditions of Ladakh. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci*. 7: 1449-1455.

69. *Faulks, R. M. – Griffiths, N. M.*: 1983. Influence of variety, site and storage on physical, sensory and compositional aspects of mashed potato. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 34. 9: 979-986.
70. *Fennema, O. R.*: 1996. Food chemistry. CRC Press.
71. *Ferrando, A.*: 2013. Increased protein intake in military special operations. *The Journal of nutrition*. 143. 11: 1852-1856.
72. *Fogelman, E. – Oren-Shamir, M. – Hirschberg, J. – Mandolino, G. – Parisi, B. – Ovadia, R. – Tanami, Z. – Faigenboim, A. – Ginzberg, I.*: 2019. Nutritional value of potato (*Solanum tuberosum*) in hot climates: anthocyanins, carotenoids, and steroidal glycoalkaloids. *Planta*. 249. 1: 143-1155.
73. *FSANZ.*: 2022. Food Standards Australia New Zealand, Australian Food Composition Database. Letöltés dátuma: 2023. 03 21, forrás: <https://www.foodstandards.gov.au>
74. *Galliard, T.*: 1987. Starch: Properties and Potential. Wiley.
75. *Garner, H. W.*: 1989. Oxygen radical chemistry of polyunsaturated fatty acids. *Free Radical Biology and Medicine*. 7. 1: 65-86.
76. *Gasztonyi, K. – Lásztity, R.*: 1992. Élelmiszer-kémia 1. Budapest: Mezőgazda Kiadó.
77. *Geist, V.*: 1978. On the Evolution of Modern Man. Life Strategies, Human Evolution, *Environmental*. 301-353.
78. *Geist, V.*: 2000. The Neanderthal Paradigm. USA: UCLA.
79. *Ghumman, A. – Kaur, A. – Singh, N.*: 2016. Impact of germination on flour, protein and starch characteristics of lentil (*Lens culinaris*) and horsegram *Macrotyloma uniflorum* L. lines. *LWT-Food Science and Technology*. 65: 137-144.
80. *Gibson, L. J.*: 2012. The hierarchical structure and mechanics of plant materials. *Journal of the Royal Society Interface*. 9. 76: 2749-2766.
81. *Goldman, M. – Horev, B. – Saguy, I.*: 1983. Decolorization of  $\beta$ -carotene in model systems simulating dehydrated foods. Mechanism and kinetic principles. *Journal of Food Science*. 48. 3: 751-754.
82. *Gómez, F. – Toledo, R. T. – Wadsö, L. – Gekas, V. – Sjöholm, I.*: 2004. Isothermal calorimetry approach to evaluate tissue damage in carrot slices upon thermal processing. *Journal of food engineering*. 65: 2.
83. *Guedes, J. S. – Santos, K. C. – Castanha, N. – Rojas, M. L. – Junior, M. M. – Lima, D. C.*: 2021. Structural modification on potato tissue and starch using ethanol pretreatment and drying process. *Food Structure*. 29: 100202.

84. Guiné, R. P. – Barroca, M. J.: 2012. Effect of drying treatments on texture and color of vegetables pumpkin and green pepper. *Food and Bioproducts Processing*. 90. 1: 58-63.
85. Hammami, C. – Rene, F. – Marin, M.:1999. Process–quality optimization of the vacuum freeze-drying of apple slices by the response surface method. *International journal of Food Science & Technology*. 34. 2: 145-160.
86. Harnkarnsujarit, N. – Charoenrein, S. – Roos, Y. H.: 2012a. Porosity and Water Activity Effects on Stability of Crystalline  $\beta$ -Carotene in Freeze-Dried Solids. *Journal of Food Science*. 77. 11: 313-320.
87. Harnkarnsujarit, N. – Charoenrein, S. – Roos, Y. H.: 2012b. Microstructure formation of maltodextrin and sugar matrices in freeze-dried systems. *Carbohydrate polymers*. 88. 734-742.
88. Hartley, H.: 1951. Origin of the word ‘protein. *Nature*. 168. 244: 244-244.
89. Hnin, K. K. – Zhang, M. – Mujumdar, A. S. – Zhu, Y.: 2019. Emerging Food Drying Technologies with Energy-Saving Characteristics: *Drying Technol.* 37: 1465-1480.
90. Hormdok, R. – Noomhorm, A.: 2007. Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality. *LWT-Food science and Technology*. 40. 10: 1723-1731.
91. Huang, J. – Keshavarz, A. R. – Chen, C.: 2016. Lentil response to nitrogen application and rhizobia inoculation. *Communications in soil science and plant analysis*. 47. 21: 2458-2464.
92. ICSPP. 2023. 6th International Congress on Soldiers’ Physical Performance London
93. Innis, S. M.: 2008. Dietary omega 3 fatty acids and the developing brain. *Brain research*. 1237: 35-43.
94. *Institute of Medicine US.*: 2000. DRI dietary reference intakes: applications. Subcommittee on Interpretation and Uses of Dietary Reference Intakes, & Institute of Medicine US Standing Committee on the Scientific Evaluation of Dietary Reference Intakes.
95. Inyang, U. E. – Oboh, I. O. – Etuk, B. R.: 2018. Kinetic models for drying techniques food materials. *Advances in Chemical Engineering and Science*. 8. 2: 27-48.
96. Iwai, I. – Han, H. – Hollander, L. d. – Svensson, S. – Ofverstedt, L. G. – Anwar, J. – Brewer, J. – Blocksgaard, M. – Laloef, A. – Nosek, D. – Masich, S. – Bagatolli, L.A. – Skoglund, U. – Norlén, L.: 2012. The human skin barrier is organized as stacked bilayers of fully extended ceramides with cholesterol molecules associated with the ceramide sphingoid moiety. *Journal of Investigative Dermatology*. 132. 9: 2215-2225.

97. *Jarvis, M. C. – Duncan, H. J.:* 1992a. The textural analysis of cooked potato. 1. Physical principles of the separate measurement of softness and dryness. *Potato Research*. 35: 83-91.
98. *Jarvis, M. C. – Mackenzie, E. – Duncan, H. J.:* 1992b. The textural analysis of cooked potato. 2. Swelling pressure of starch during gelatinisation. *Potato Research*. 35: 93-102.
99. *Jayanty, S. S. – Diganta, K. – Raven, B.:* 2019. Effects of cooking methods on nutritional content in potato tubers. *American Journal of Potato Research*. 96: 183-194.
100. *Jayaraman, K. S. – Das Gupta, D. K. – Babu Rao, N.:* 1990. Effect of pretreatment with salt and sucrose on the quality and stability of dehydrated cauliflower. *International Journal of Food Science and Technology*. 25: 47-60.
101. *Jia, Y. – Khalifa, I. – Hu, L. – Zhu, W. – Li, J. – Li, K. – Li, C.:* 2019. Influence of three different drying techniques on persimmon chips' characteristics: A comparison study among hot-air, combined hot-air-microwave, and vacuum-freeze drying techniques. *Food and Bioprocesses Processing*. 118: 67-76.
102. *Jitsuyama, Y. – Tago, A. – Mizukami, C. – Iwama, K.:* 2009. Endogenous components and tissue cell morphological traits of fresh potato tubers affect the flavor of steamed tubers. *American journal of potato research*. 86: 430-441.
103. *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.
104. *Kanwate, B. W. C. – Ballari, R. V. – Kudre, T. G.:* 2019. Influence of Spray-Drying, Freeze-Drying and Vacuum-Drying on Physicochemical and Functional Properties of Gelatin from Labeo Rohita Swim Bladder. *Int. J. Biol. Macromol.* 121: 135-141.
105. *Karwacka, M. – Ciurzyńska, A. – Galus, S. – Janowicz, M.:* 2022. Freeze-dried snacks obtained from frozen vegetable by-products and apple pomace – Selected properties, energy consumption and carbon footprint. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 77: 1002949.
106. *Kast, W. – Hohenthanner, C.:* 2000. Mass transfer within the gas-phase of porous media. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 43. 5: 807-823.
107. *Kaur, A. – Singh, N. – Ezekiel, R. – Guraya, H. S.:* 2007. Physicochemical, thermal and pasting properties of starches separated from different potato cultivars grown at different locations. *Food Chemistry*. 101: 643-651.
108. *Kaviyarasan, S. – Chung Sia, E. L. – Retinasamy, T. – Arulsamy, A. – Shaikh, M. F.:* 2022. Regulation of gut microbiome by ketogenic diet in neurodegenerative diseases: A molecular crosstalk. *Frontiers in Aging Neuroscience*. 14. 1015837.

109. *Khalloufi, S. – El-Maslouhi, Y. – Ratti, C.:* 2000. Mathematical model for prediction of glass transition temperature of fruit powders. *Journal of Food Science.* 65. 5: 842-848.
110. *Kiran, S. – Johnson, J. B. – Mani, J. S. – Portman, A. – Mizzi, T. – Naiker, M.:* 2021. Commercial lentils (*Lens culinaris*) provide antioxidative and broad-spectrum anti-cancerous effects. *Legume Research-An International Journal.* 44. 2: 202-206.
111. *Klotz, I. M. – Heiney, R. E.:* 1957. Changes in protein topography upon oxygenation. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 43. 8: 717-720.
112. *Knorr, D.:* 1982. Effects of recovery methods on the functionality of protein concentrates from food processing wastes 1. *Journal of Food Process Engineering.* 5. 4. 215-230.
113. *Koca, N. – Burdurlu, H. S. – Karadeniz, F.:* 2007. Kinetics of colour changes in dehydrated carrots. *Journal of Food Engineering.* 78. 2: 449-455.
114. *Kraujalytė, V. – Pelvan, E. – Ala, C.:* 2016. Volatile compounds and sensory characteristics of various instant teas produced from black tea. *Food Chemistry.* 194: 864-872.
115. *Krokida, M. – Karathanos, V. – Maroulis, Z.:* 1998. Effect of freeze-drying conditions on shrinkage and porosity of dehydrated agricultural products. *Journal of Food engineering.* 35. 4: 369-380.
116. *Kuo, S. M.:* 2013. The interplay between fiber and the intestinal microbiome in the inflammatory response. *Advances in Nutrition.* 4. 1: 16-28.
117. *Laakkonen, T. O.:* 1973. Factors affecting tenderness during heating of meat. *Advances in food research.* 20: 257-323.
118. *Labuza, T. P. – Maloney, J. F. – Karel, M.:* 1966. Autoxidation of methyl linoleate in freeze-dried model systems. II. Effect of water on cobalt-catalyzed oxidation. *Journal of Food Science.* 31: 6: 885-891.
119. *Labuza, T. P.:* 1968. Sorption phenomena in foods. *Food Technol.* 22: 15-12.
120. *Labuza, T. P.:* 1984. Moisture Sorptions: Practical Aspects of Isotherm Measurement and Use. Am. Assoc. Cereal Chemists, St. Paul, MN.
121. *Lásztity, R.:* 1981. Az élelmiszer-biokémiai alapjai. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó.
122. *Lee, S. – Choi, Y. S. – Jo, K. – Jeong, H. G. – Yong, H. I. – Kim, T. K. – Jung, S.:* 2021. Processing characteristics of freeze-dried pork powder for meat emulsion gel. *Food Science of Animal Resources.* 41. 6: 997.
123. *Levin, P. – Buchholz, M. – Meunier, V. – Kessler, U. – Palzer, S. – Heinrich, S.:* 2022. Comparison of Knudsen Diffusion and the Dusty Gas Approach for the Modeling of the Freeze-Drying Process of Bulk Food Products. *Processes.* 10: 548.

124. Lewicki, P. P.: 1998. Effect of pre-drying treatment, drying and rehydration on plant tissue properties: a review. *International Journal of Food Properties*. 1. 1-22.
125. Li, M. – Daygon, V. D. – Solah, V. – Dhital, S.: 2023. Starch granule size: Does it matter? *Food Science and Nutrition*. 19: 3683-3703.
126. Lim, M. – Letchumanan, V. – Tan, LT. – Hong, KW. – Wong, SH. – Ab Mutalib, NS. – Lee LH. – Law JW.: 2022. Ketogenic diet: a dietary intervention via gut microbiome modulation for the treatment of neurological and nutritional disorders (a narrative review). *Nutrients*. 14. 17: 3566.
127. Liu, Y. – Fan, C. – Tian, M. – Yang, Z. – Liu, F. – Pan, S.: Effect of Drying Methods on Physicochemical Properties and in Vitro Hypoglycemic Effects of Orange Peel Dietary Fiber. *J. Food Process. Preserv.* 41: 13292
128. Lloyd-Price, J. – Abu-Ali, G. – Huttenhower, C.: 2016. The healthy human microbiome. *Genome medicine*. 8: 1-11.
129. Loh, J. S. – Mak, W. Q. – Tan, L. K. S. – Ng, C. X. – Chan, H. H. – Yeow, S. H. – Foo J.B. – Ong Y. S. – How C. W. – Khaw, K. Y.: 2024. Microbiota–gut–brain axis and its therapeutic applications in neurodegenerative diseases. *Signal Transduction and Targeted Therapy*. 9. 1: 37.
130. Longvah, T. – Ananthan, R. – Bhaskarachary, K. – Venkaiah, K.: 2017. Indian food composition tables. India: National Institute of Nutrition, Indian Council of Medical Research Ministry of Health and Family Welfare, Government of India.
131. Lonnie, M. – Hooker, E. – Brunstrom, J. – Corfe, B. – Green, M. – Watson, A. – Williams, E. A. – Stevenson, E. J. – Penson, S. – Johnstone, A.: 2018. Protein for Life: Review of Optimal Protein Intake, Sustainable Dietary Sources and the Effect on Appetite in Ageing Adults. *Nutrients*. 10. 3: 360.
132. Lu, Z. H. – Yada, R. Y. – Liu, Q. – Bizimungu, B. – Murphy, A. – De Koeyer, D. – Le X. – Phinhero R.: 2011. Correlation of physicochemical and nutritional properties of dry matter and starch in potatoes grown in different locations. *Food Chemistry*, 126: 1246–1253.
133. Mackenzie, A. P.: 1985. A current understanding of the freeze-drying of representative aqueous solutions. *Science et Technique du Froid France*
134. *Magyar Közlöny*.: (2001/7). A Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Miniszter 45/2001. (VI. 25.) FVM rendelete.
135. Mandal, T. – Puste, A. – Maitra, S.: 2018. Influence of irrigation and mulching on yield attributes, yield and quality of lentil *Lens esculentum* L. grown as intercrop under limited water conditions. *International Journal of Bioresource Science*. 5. 1: 61-64.

136. Marabi, A. – Livings, S. – Jacobson, M. – Saguy, I. S.: 2003. Normalized Weibull distribution for modeling rehydration of food particulates. *European Food Research and Technology*. 217: 311-318.
137. 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.
138. Mawilai, P. – Chaloeichitratham, N. – Pornchaloempong, P.: 2017. Effect of Final Drying Condition on Qualities of Freeze Dry Dragon Fruit *Hylocercus undatus*; Conference. old.: 66-70. Proceedings of the 18th TSAE National Conference and 10th TSAE International.
139. Mayer, A. M. – Harel, E.: 1979. Polyphenol oxidases in plants. *Phytochemistry*. 18. 2: 193-215.
140. McAvoy, R. J. – Janes, H. W.: 1990. Glucose metabolism and pyridine nucleotide levels in potato tubers treated with ethylene. *Journal of plant physiology*. 135. 6: 759-762.
141. Meda, L. – Ratti, C.: 2005. Rehydration of freeze-dried strawberries at varying temperatures. *Journal of Food Process Engineering*. 28: 233-246.
142. Mokrzycki, W. S. – Tatol, M.: 2011. Colour difference  $\Delta E$ -A survey. *Mach. Graph. Vis.* 20. 4: 383-411.
143. 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.
144. National Academies.: 2019. Dietary Reference Intakes DRIs: Recommended Dietary Allowances and Adequate Intakes, ElementsFood and Nutrition Board. Letöltés dátuma: 2023. 03 21, forrás: [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK545442/table/appJ\\_tab3/?report=object-only](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK545442/table/appJ_tab3/?report=object-only)
145. NATO.: 2010. Nutrition Science and Food Standards for Military Operations. NATO Standardization Office NSO.
146. NATO.: 2019. Amedp-1.11, Standard Requirements of Individual Operational Rations for Military Use (Edition B Ver-sion 1. kötet). NATO Standardization Office (NSO), Allied Medical Publication
147. Nemzeti Agrárgazdasági Kamara.: 2018. Élelmiszeripari alapfogalmak.
148. Ninou, E. – Papathanasiou, F. – Vlachostergios, D. N. – Mylonas, I. – Kargiotidou, A. – Pankou, C. – Tokatlidis, I.: 2019. Intense breeding within lentil landraces for high-yielding pure lines sustained the seed quality characteristics. *Agriculture*. 9. 8: 175.

149. Noda, T. – Kottearachchi, N. S. – Tsuda, S. – Mori, M. – Takigawa, S. – Matsuura-Endo, C. – Kim S. – Hashimoto N. – Yamauchi, H.: 2007. Starch phosphorus content in potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars and its effect on other starch properties. *Carbohydrate Polymers*. 68. 4: 793-796.
150. Nowak, D. – Jakubczyk, E.: 2020. The Freeze-Drying of Foods-The Characteristic of the Process Course and the Effect of Its Parameters on the Physical Properties of Food Materials. *Foods*. 9. 10: 1488.
151. Nowak, D.: 2017. The innovative measurement system of the kinetic of freeze-drying and sorption properties of dried products as a tool for controlling and assessing the course of freeze-drying. Warsaw University of Life Sciences Press: Warsaw, Poland, 217.
152. Obara, A. – Obiedziński, M. – Kolczak, T.: 2006. The effect of water activity on cholesterol oxidation in spray-and freeze-dried egg powders. *Food Chemistry*. 95. 2: 173-179.
153. O'Carra, P. – Mulcahy, P.: 1996. Lactate dehydrogenase in plants: distribution and function. *Phytochemistry*. 42. 3: 581-587.
154. Ohnishi, H. – Saito, Y.: 2013. Eicosapentaenoic acid (EPA) reduces cardiovascular events: relationship with the EPA/arachidonic acid ratio. *Journal of atherosclerosis and thrombosis*. 20. 12: 861-877.
155. Onwude, D.I. – Hanshim, N. – Janius, R.B. – Nawi, N.M. – Abdan, K.: 2016. Modeling the Thin Layer Drying of Fruits and Vegetables. *Food Science and Food Safety*. 15. 29-618.
156. Ortolani, C. – Pastorello, E. A.: 2006. Food allergies and food intolerances. *Best Practice Research Clinical Gastroenterology*. 20. 3: 467-483.
157. Oyinloye, T. M. – Yoon, W. B.: 2020. Effect of Freeze-Drying on Quality and Grinding Process of Food Produce. *Processes*. 8: 354.
158. Padovani, R. – Lima, D. – Colugnati, F. – Rodriguez-Amaya, D.: 2007. Comparison of proximate, mineral and vitamin composition of common Brazilian and US foods. *Journal of Food Composition and Analysis*. 20. 8: 733-738.
159. Pan, D. D. – Jane, J. L.: 2000. Internal structure of normal maize starch granules revealed by chemical surface gelatinization. *Biomacromolecules*. 1. 1: 126-132.
160. Pasiakos, S. – Sepowitz, J. – Deuster, P.: 2015. US Military Dietary Protein Recommendations: A Simple But Often Confused Topic. *Journal of special operations medicine a peer reviewed journal for SOF medical professionals*. 15. 4: 89-95.
161. Petersen C. – Round J.L.: 2014. Defining dysbiosis and its influence on host immunity and disease. *Cell Microbiol*. 16: 1024-1033.

162. Pieniasek, 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.
163. Prescott, F.: 1930. Spallanzani on Spontaneous Generation and Digestion: Life and Works of Spallanzani. *Proceedings of the Royal Society of Medicine*. 495-510.
164. Proudman, S. M. – Cleland, L. G. – Metcalf, R. G. – Sullivan, T. R. – Spargo, L. D. – James, M. J.: 2015. Plasma n-3 fatty acids and clinical outcomes in recent-onset rheumatoid arthritis. *The British journal of nutrition*. 114. 6: 885-890.
165. Qian, L. – Zhang, H.: 2011. Controlled freezing and freeze drying: a versatile route for porous and micro-/nano-structured materials. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*. 86. 2: 172-184.
166. Qiao, D. – Zhang, B. – Huang, J. – Xie, F. – Wang, D. K. – Jiang, F. – Zhao, S. – Zhu, J.: 2017. Hydration-induced crystalline transformation of starch polymer under ambient conditions. *International journal of biological macromolecules*. 103: 152-157.
167. Qiu, G. – Jiang, Y. – Deng, Y.: 2019. Drying Characteristics, Functional Properties and in Vitro Digestion of Purple Potato Slices Dried by Different Methods. *Journal of Integrative Agriculture*. 18: 2162-2172.
168. Rahman, M. S. – Perera, C. O.: 2007. Drying and food preservation. In Handbook of food preservation 421-450. CRC press.
169. 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.
170. Rahman, M. S.: 2020. Handbook of food preservation. CRC press.
171. Ratti, C.: 2013. Freeze drying for food powder production. In B. B. Bhandari, Handbook of Food Powders old.: 57-84. Oxford, UK: Woodhead Publishing Witney.
172. Répás, Z. – Bakos, Cs. A. – Hajdú, F. – Buzás-Berecki, O. – Győri, Z.: 2023. A Magyar Honvédség élelmezésellátásának modernizációs lehetőségei. *Honvédségi Szemle – Hungarian Defence Review*, 151. 5: 103-114.
173. *Report on health and social subjects.*: 1991. Dietary reference values for food energy and nutrients for the United Kingdom. Report of the Panel on Dietary Reference Values of the Committee on Medical Aspects of Food Policy. (London). 41:1-210
174. Rockland, L. B. – Beuchat, L. R.: 1987. Water activity: theory and applications to food.
175. Rodler, I.: 2005. Új tápanyagtáblázat. Budapest: Medicina Könyvkiadó Rt.

176. Roe, M. – Pinchen, H. – Church, S. – Finglas, P.: 2015. McCance and Widdowson's the composition of foods seventh summary edition and updated composition of foods integrated dataset. *Nutrition bulletin*. 40. 1: 36-39.
177. Romberger, J. A. – Norton, G.: 1961. Changing respiratory pathways in potato tuber slices. *Plant Physiology*. 36. 1: 20.
178. Roos, Y. H.: 2010. Glass transition temperature and its relevance in food processing. *Annual review of food science and technology*. 1: 469-496.
179. Sablani, S. S.: 2006. Drying of fruits and vegetables: retention of nutritional/functional quality. *Drying technology*. 24. 2: 123-135.
180. Salwin, H.: 1959. Defining minimum moisture contents for dehydrated foods. 549-595.
181. Savage, D.C.: 1997. Microbial ecology of the gastrointestinal tract. *Annu. Rev. Microbiol.* 31:107-133.
182. Schmidt, H. L. – Werner, R. A. – Eisenreich, W.: 2003. Systematics of 2 H patterns in natural compounds and its importance for the elucidation of biosynthetic pathways. *Phytochemistry Reviews*. 2: 61-85.
183. Schmidt, H. L.: 1995. Non-statistical isotope distribution in natural compounds: mirror for their biosynthesis and key for their origin assignment. Stable isotopes in the biosphere.
184. Schormüller, J.: 1974. Lehrbuch der Lebensmittelchemie. Berlin: Springer-Verlag
185. Searles, J. A. – Carpenter, J. F. – Randolph, T. W.: 2001. The ice nucleation temperature determines the primary drying rate of lyophilization for samples frozen on a temperature-controlled shelf. *Journal of pharmaceutical sciences*. 90. 7: 860-871.
186. Shackelford, S. D. – Wheeler, T. L. – Koohmaraie, M.: 1999. Evaluation of slice shear force as an objective method of assessing beef longissimus tenderness. *Journal of animal science*. 77. 10: 2693-2699.
187. Shahidi, F. – Ambigaipalan, P.: 2015. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects. *Journal of functional foods*. 18: 820-897.
188. Sharaan, A. – Afiah, S. – Migawer, E.: 2003. Yield and its components of diverse lentil genotypes grown under different edaphic and climate conditions. *Egypt J Desert Res*. 53. 1: 19-30.
189. Siddiqui, S. A. – Ucak, İ. – Jain, S. – Elsheikh, W. – Ali Redha, A. – Kurt, A., – Toker, O. S.: 2024. Impact of drying on techno-functional and nutritional properties of food proteins and carbohydrates-A comprehensive review. *Drying Technology*. 42. 4: 592 – 611.

190. *Silva-Espinoza, M. – Ayed, C. – Foster, T. – Camacho, M. – Martínez-Navarrete, N.*: 2019. The impact of freeze-drying conditions on the physico-chemical properties and bioactive compounds of a freeze-dried orange puree. *Foods*. 9. 1: 32.
191. *Šimková, D. – Lachman, J. – Hamouz, K. – Vokál, B.*: 2013. Effect of cultivar, location and year on total starch, amylose, phosphorus content and starch grain size of high starch potato cultivars for food and industrial processing. *Food chemistry*. 141. 4: 3872-3880.
192. *Skypala, I. – Venter, C.*: 2009. Food hypersensitivity: diagnosing and managing food allergies and intolerance. Oxford: John Wiley & Sons Ltd.
193. *Smith, M. F. – Leighton, C. S. – Morey, L. – Schönfeldt, H. C.*: 2009. Application of partial least squares regression to relate tastiness of boiled potatoes to chemical and physical tests. *South African Journal of Plant and Soil*. 26. 1: 31-35.
194. *Somlyai, G. – Nagy, L. I. – Puskás, L. G. – Papp, A. – Kovács, B. Z. – Fórizs, I. – Czuppon, G. – Somlyai, I.*: 2023. Deuterium Content of the Organic Compounds in Food Has an Impact on Tumor Growth in Mice. *Molecular Biology*. 45. 1: 66-77.
195. *Suden, J. R. – Pearson, A. M. – Dugan Jr, L. R.*: 1964. Rehydration of Freeze-Dried Pork as Related to pH and Protein Denaturation a. *Journal of Food Science*. 29. 2: 192-197.
196. *Surdu, A. M. – Pînzariu, O. – Ciobanu, D. M. – Negru, A.G. – Căinap, S.S. – Lazea, C. – Iacob, D. – Săraci, G. – Tirinescu, D. – Borda, I. M. – Cismaru, G.*: 2021. Vitamin D and its role in the lipid metabolism and the development of atherosclerosis. *Biomedicines*. 9. 2: 172.
197. *Szabó, Z. – Csuty, I. – Hidegkuti, Gy.*: 1987. Élelmiszeripari műveletek és gépek. Budapest, Mezőgazda Kiadó, 561 – 562.
198. *Szczesniak, A. S.*: 1971. Effect of mode of rehydration on textural parameters of precooked freeze-dried sliced beef. *Journal of texture studies*, 2 1 , *Journal of texture studies*. 2. 1: 18-30
199. *Szenes, E. – Oláh, M.*: 1991. Konzervipari Kézikönyv. Budapest: Integra–Projekt Kft.
200. *Tanes, C. – Bittinger, K. – Gao Y. – Friedman, ES. – Nessel, L. – Paladhi, UR. – Chau, L. – Panfen, E. – Fischbach, MA. – Braun, J. – Xavier, RJ. – Clish, CB. – Li, H. – Bushman, FD. – Lewis, JD. – Wu, GD.*: 2021 Role of dietary fiber in the recovery of the human gut microbiome and its metabolome. *Cell host & microbe*. 29. 3: 394-407.
201. *Tang, X. – Pikal, M. J.*: 2004. Design of Freeze-Drying Processes for Pharmaceuticals: Practical Advice. *Pharmaceutical Research*. 21. 2: 191-200.
202. *Templeman, I. – Parish, E. – Rimmer, J. – Clarke, G. – Troth, T. – Goodson, M. S. – Soares, J. W. – Harding, S. V.*: 2024. 'It takes a village': deciphering the role of

- the gut microbiome in the health and performance of military personnel. *BMJ military health*. e002746.
203. Thomson, T.: 2001. Wheat starch, gliadin, and the gluten-free diet. *Journal of the American Dietetic Association*. 101. 12: 1456-1459.
  204. Thybo, A. K. – Christiansen, J. – Kaack, K – Petersen, M. A.: 2006. Effect of cultivars, wound healing and storage on sensory quality and chemical components in pre-peeled potatoes. *LWT-Food Science and Technology*. 39. 2: 166-176.
  205. Troller, J. A.: 1989. Water activity and food quality. *Water and Food Quality*.
  206. Tuck, C. J. – Biesiekierski, J. R. – Schmid-Grendelmeier, P. – Pohl, D.: 2019. Food Intolerances. *Nutrients*. 11. 7: 1684.
  207. Tüfekçi, S. – Özkal, S. G.: 2023. The Optimization of Hybrid Microwave–Conventional Drying of Sweet Potato Using Response Surface Methodology RSM. *Foods*. 12. 16: 3003.
  208. Ursell, L. K. – Metcalf, J. L. – Parfrey, L. W. – Knight, R.: 2012. Defining the human microbiome. *Nutrition reviews*. 70: 38 – 44.
  209. USDA: 2019. Food Data Central. Letöltés dátuma: 2023. 01 23, forrás: U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/172420/nutrients>
  210. Vamadevan, V. – Bertoft, E.: 2015. Structure-function relationships of starch components. *Starch-Stärke*. 67. 1-2: 55-68.
  211. Vamadevan, V. – Bertoft, E.: 2020. Observations on the impact of amylopectin and amylose structure on the swelling of starch granules. *Food Hydrocolloids*. 103, 105663.
  212. Van Marle, J. – de Vries, R. – Wilkinson, E. – Yuksel, D.: 1997. Sensory evaluation of the texture of steam-cooked table potatoes. *Potato Research*. 40: 79-90.
  213. Vergeldt, F. J. – Van Dalen, G. – Duijster, A. J. – Voda, A. – Khalloufi, S. – Van Vliet, L. J. – As V.H. – Duynhoven J.P.M. – Van Der Sman R.: 2014. Rehydration kinetics of freeze-dried carrots. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 24: 40-47.
  214. Walter, H.: 1931. Die Hydratur der Pflanze. Jena: Gustav Fischer.
  215. Wang, N. – Daun, J.: 2006. Effects of variety and crude protein content on nutrients and anti-nutrients in lentils *Lens culinaris*. *Food chemistry*. 95. 3: 493-502.
  216. Warmbier, H. C. – Schnlckels, R. A. – Labuza, T. P.: 1976. Effect of glycerol on nonenzymatic browning in a solid intermediate moisture model food system. *Journal of Food Science*. 41. 3: 528-531.
  217. WHO: 1985. Energy and protein requirements, Technical Report Series. Genova, World Health Organization.

218. *Wolkers, W. F. – Oldenhof, H.:* 2021. Principles Underlying Cryopreservation and Freeze-Drying of Cells and Tissues. *Methods in Molecular Biology*. 2180: 3-25.
219. *Wrolstad, R. E. – Smith, D. E.:* 2017. Color Analysis. *Food Analysis*. 545-555.
220. *Wu, G. – Chen, J. – Hoffmann, C. – Bittinger, K. – Chen, YY. – Keilbaugh, SA. – Bewtra, M. – Knights, D – Walters, WA. – Knight, R. – Sinha, R. – Gilroy, E. – Gupta, K – Baldassano, R. – Nessel, L. – Li, H. – Bushman, FD. – Lewis, JD.:* 2011. Linking long-term dietary patterns with gut microbial enterotypes *Science*. 334: 105-108.
221. *Wu, G.:* 2016. Dietary protein intake and human health. *Food & function*. 7. 3: 1251-1265.
222. *Wyrwisz, J. – Moczowska, J. – Kurek, M. – Karp, S. – Atanasov, A. G. – Wierzbicka, A.:* 2019. valuation of wbsf, color, cooking loss of longissimus lumborum muscle with fiber optic near-infrared spectroscopy (ft-nir), depending on aging time. *Molecules*. 24. 4: 757.
223. XLSTAT Addinsoft (2020) XLSTAT Statistical and Data Analysis Solution. New York. <https://www.xlstat.com>
224. *Yan X. H.:* 2015. Molecular nutrition: basic understanding of the digestion, absorption, and metabolism of nutrients. *Journal of Zhejiang University. Science. B*, 16. 6: 413.
225. *Zeidan, M.:* 2007. Effect of organic manure and phosphorus fertilizers on growth, yield and quality of lentil plants in sandy soil. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*. 3. 6: 748-752.
226. *Zhang, J. – Murphy, A. – Liu, G. – Bizimungu, B. – Liu, Q. – Leclerc, Y. – Xing. T. – Li, X. Q.:* 2011. Starch granule size variation and relationship with tuber dry matter content in heritage potato varieties. *Scientia horticultrae*. 130. 3: 503-509.
227. *Zhang, W. G. – Xiao, S. – Ahn, D. U.:* 2013. Protein oxidation: Basic principles and implications for meat quality. *Food Science and Nutrition*. 23. 11: 1191-1201.

## 12. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN



**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 termékek 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**

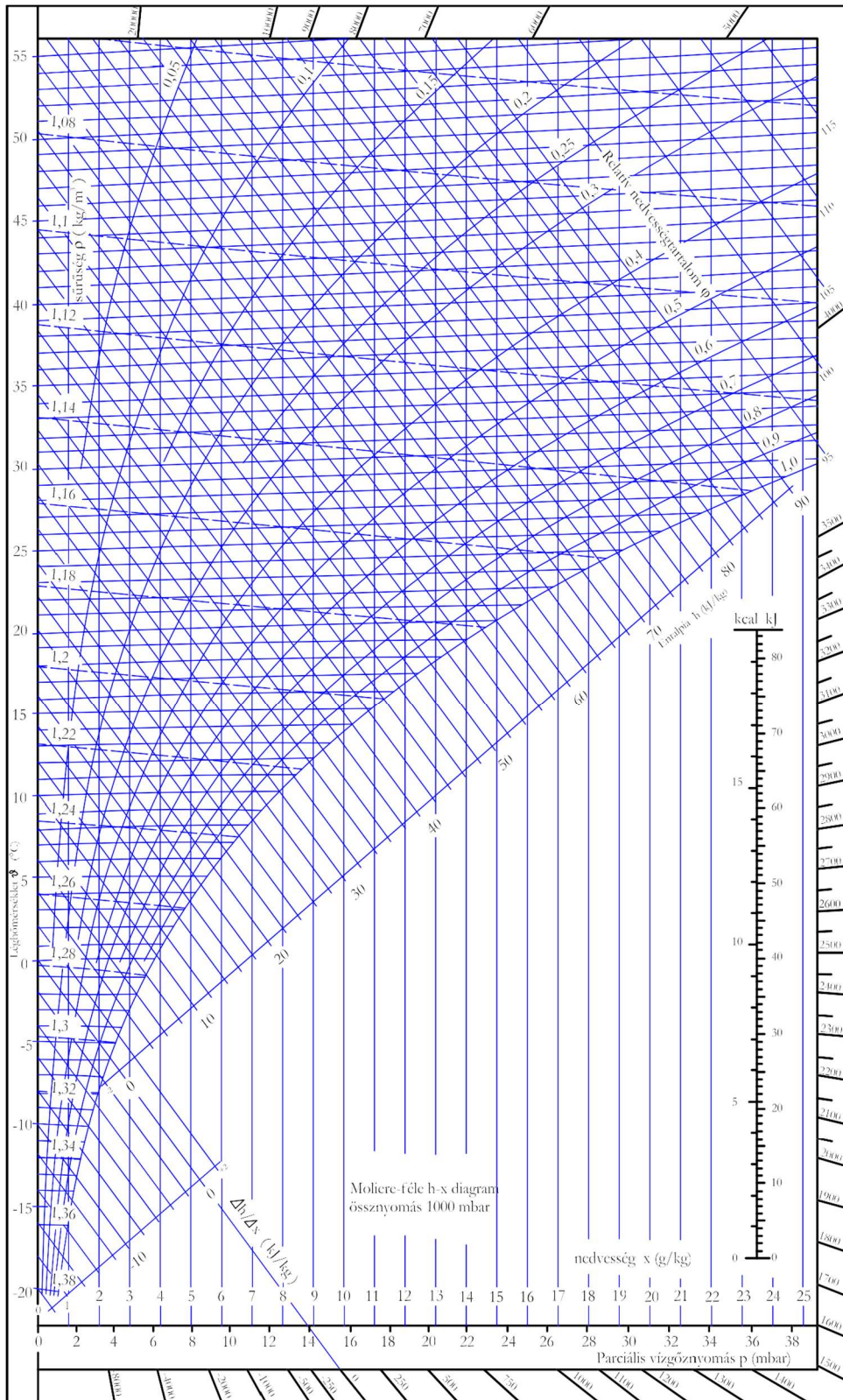
A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2024.04.23.



# 13. MELLÉKLETEK

## 1. melléklet



## 14. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Szeretném kifejezni köszönetemet:

Dr. Győri Zoltán professzor Úrnak a disszertáció témavezetéséért, az önzetlen segítségét, türelmét és a minden területre kiterjedő támogatását, iránymutatását.

Dr. Böröndi Gábor László Vezérezredes Úrnak a Magyar Honvédség Vezérkari Főnökének tanulmányom támogatásért.

Dr. Máthé Endre intézetvezető Úrnak és az általa vezetett Táplálkozástudományi Intézet minden Munkatársának a folyamatos és minden területre kiterjedő támogatásért.

Dr. Boros László professzor Úrnak a deutenomikai megismeréséért, a tudományterülethez kapcsolódó ismeretekért, szakmai támogatásáért.

Dr. Sipos Péter professzor Úrnak a szakmai iránymutatás és technikai támogatásért.

Dr. Polgár Zsolt professzor Úrnak a burgonyakutatásokban nyújtott támogatásért.

Dr. Prokisch József tanár Úrnak és az általa vezetett Nanofood laboratóriumnak a szakmai segítségért és a technikai támogatásért.

A Doktori Iskola és az Egyetem támogatását a kutatások végrehajtásához, és a tudományos közlemények megjelenéséhez.

Hajdú Ferenc ezredes, Bakos Csaba Attila ezredes Uraknak és az egykori Magyar Honvédség Modernizációs Intézet Parancsnokának és volt kollégáinak a támogatását.

Dr. Ferhan Ayaydin Úrnak, a képanalízis során nyújtott segítséget.

A Debreceni Egyetem munkatársainak.

Volt és jelenlegi Professzoraimnak, Tanárimnak, Oktatóimnak.

Egykori és jelenlegi Parancsnokaimnak, Kollégáimnak.

Minden kedves Kollégának, Barátnak, Ismerősnek és Ismeretlennek, aki bármilyen módon segítette munkám, kutatásom.

Végül, de nem utolsó sorban szeretném megköszönni Feleségemnek a kitartó és önzetlen támogatást, gyermekeimnek és szüleimnek a türelmet és a segítséget.

Hálás szívvel köszönöm!

## 15. NYILATKOZATOK

### NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Táplálkozás- és Élelmiszertudományi Doktori Iskola keretében készítettem, a Debreceni Egyetem doktori (Ph.D.) fokozatának elnyerése céljából.  
Debrecen, 2024. október.

.....

A jelölt aláírása

### NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy Répás Zoltán doktorjelölt 2019-2024 között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom.  
Debrecen, 2024. október.

.....

A témavezető aláírása