

DOKTORI (Ph.D.) ÉRTEKEZÉS

ANTAL TAMÁS

**DEBRECEN
2010.**

DEBRECENI EGYETEM

Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma

Mezőgazdaságtudományi Kar

KERPÉLY KÁLMÁN DOKTORI ISKOLA

Doktori Iskola vezetője:

Prof. Dr. Nagy János

MTA doktora

Témavezető:

**Prof. Dr. Sinóros-Szabó Botond, MTA doktora
egyetemi tanár**

**GYÜMÖLCS- ÉS ZÖLDSÉGSZÁRÍTMÁNYOK MINŐSÉGÉT BE-
FOLYÁSOLÓ TECHNOLÓGIAI JELLEMZŐK VIZSGÁLATA**

Készítette:

Antal Tamás

Doktorjelölt

**Debrecen
2010.**

GYÜMÖLCS- ÉS ZÖLDSÉGSZÁRÍTMÁNYOK MINŐSÉGÉT BE- FOLYÁSOLÓ TECHNOLÓGIAI JELLEMZŐK VIZSGÁLATA

Értekezés a doktori (Ph.D.) fokozat megszerzése érdekében az
Agrártudományok területén a
Növénytermesztési- és kertészeti tudományágban

Írta: Antal Tamás okleveles mezőgazdasági gépészmérnök

Készült a Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán doktori iskolája
(Agrárműszaki programja) keretében

Témavezető: Dr. Sinóros-Szabó Botond DSc., egyetemi tanár

A doktori szigorlati bizottság:

Név	Tud. fokozat
Elnök: Dr. Csizmazia Zoltán	CSc., professor emeritus
Tagok: Dr. Wachtler István	CSc., egyetemi tanár
Dr. Rátonyi Tamás	PhD., egyetemi docens

A doktori szigorlat időpontja: 2009. április 20.

Az értekezés bírálói:

Név	Tud. fokozat	Aláírás
Dr. Soltész Miklós	DSc., egyetemi tanár	
Dr. Grasselli Gábor	CSc., egyetemi docens	

A bírálóbizottság:

Név	Tud. fokozat	Aláírás
Elnök:		
Tagjai:		
.....		
.....		
Titkár:		

Az értekezés védésének időpontja: 2010

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés	1.o.
2. Szakirodalmi értékelő elemzés	3.o.
2.1. Zöldség- és gyümölcszsárítási módszerek és eljárások	3.o.
2.1.1. A természetes zsárítási eljárás	4.o.
2.1.2. Mesterséges zsárítási eljárások	4.o.
2.1.3. Fagyasztva zsárítás - liofilizálás	6.o.
2.2. A hő- és anyagátadási folyamat vizsgálati megoldásainak bemutatása	15.o.
2.2.1. Zsárítási görbék	15.o.
2.2.2. Hőmérsékletgörbék	16.o.
2.2.3. A fagyasztva zsárítás során lejátszódó hő- és anyagtranszport folyamatok	17.o.
2.2.4. A szilárd anyagok nedvességtranszport folyamatainak modellezése	19.o.
2.3. A gyümölcs- és zöldségzsárítmányok meghatározó értékmérő jellemzői	21.o.
2.3.1. Beltartalmi jellemzők, kémiai összetétel	21.o.
2.3.2. A keménység vagy terményszilárdság	24.o.
2.3.3. A duzzadás, visszanedvesedés	27.o.
2.3.4. Zöldség- és gyümölcshél szöveti szerkezete	29.o.
2.4. Hazai fagyasztva zsárítási kísérletek eredményeinek összegzése	32.o.
3. Anyag és módszer	33.o.
3.1. A kísérleti modell bemutatása	33.o.
3.2. A kísérletekben vizsgált anyagok jellemzése	36.o.
3.2.1. Gyümölcshél	36.o.
3.2.2. Zöldségshél	44.o.
3.3. A kísérletekben alkalmazott zsárítóberendezések ismertetése	48.o.
3.3.1. LP 302 laboratóriumi hengeres zsárítószekrény	48.o.
3.3.2. Armfield FT33 laboratóriumi vákuum-fagyasztva zsárító	49.o.
3.3.3. Üzemi vákuum-fagyasztva zsárító berendezés	53.o.
3.4. A mérőműszerek és a mérési eljárások bemutatása	55.o.
3.4.1. Nedvességtartalom-meghatározás	55.o.
3.4.2. A konvektív eljárás zsárítási paramétereinek mérése	56.o.
3.4.3. A beltartalmi összetevők meghatározásának analitikai módszerei	57.o.
3.4.4. A zsárítmány szilárdságának meghatározása	62.o.
3.4.5. A zsárított anyag vízfelvevő aktivitásának mérése	64.o.

3.4.6. A szerkezeti struktúra vizsgálata	66.o.
3.4.7. A mérési eredmények kiértékelési algoritmus	67.o.
4. Eredmények és megvitatásuk	68.o.
4.1. Hő- és anyagátadási folyamatok gyümölcs- és zöldségszárítmányoknál	68.o.
4.1.1. Gyümölcs- és zöldségszárítmányok szárítási görbéi	68.o.
4.1.2. A vákuum-fagyasztva szárított gyümölcs- és zöldségszárítmányok hő-mérsékletgörbéi	70.o.
4.1.3. A laboratóriumi és üzemi szárítóberendezések energia-felhasználásának összehasonlító vizsgálata	76.o.
4.2. A beltartalom kölcsönhatások szerinti jellemzése	80.o.
4.2.1. Gyümölcsszárítmányok analitikai összehasonlítása	80.o.
4.2.2. Zöldségszárítmányok analitikai összehasonlítása	84.o.
4.3. Penetrációs vizsgálatok	89.o.
4.3.1. A dehidrált gyümölcs- és zöldségminták felületi szilárdságának vizsgálata	89.o.
4.3.2. A tárolás alatt bekövetkező állományváltozások a szárítmányokban	91.o.
4.4. Textúrális visszanedvesedési vizsgálatok	98.o.
4.4.1. Dehidrált termékek visszanedvesedési képességének vizsgálata	98.o.
4.4.2. Rehidrált kertészeti termékek nedvességtartalma	103.o.
4.4.3. Szárított kertészeti termékek rehidrációs kinetikája	104.o.
4.5. A szárítmányok textúrális elemzése	108.o.
5. Következtetések, javaslatok	114.o.
6. Új tudományos eredmények	118.o.
7. Összefoglalás	121.o.
8. Summary	124.o.
9. Publikációs jegyzék	
10. Publikációk az értekezés témakörében	
11. Köszönetnyilvánítás	
Melléklet	
Nyilatkozatok	

1. BEVEZETÉS

A zöldségek és gyümölcsök feldolgozásának egyik lehetősége a szárítás. Ennek a tartósítási eljárásnak a leggyakrabban alkalmazott módja a mesterséges konvektív szárítási mód. Az elterjedését az egyszerűség és az alacsony üzemeltetési költség jelenti, azonban nem szabad megfeledkeznünk a hátrányairól sem, melyek a szárítmány minőségét érintetik: jelentős beltartalmi értékcsökkenés, zsugorodás, a felületen át nem eresztő, kemény réteg képződése, fehérjék denaturálódása stb.

Kutatások már régóta folynak abban az irányban, hogy a természet bőkezű ajándékait, a zöldségeket, gyümölcsöket úgy tudjuk tartósítani, hogy megőrizzék eredeti jellemzőiket a téli, hideg hónapokra is. Ma, a 21. században az előállított zöldség- és gyümölcsszárítmányokkal szemben olyan követelményeket támasztanak, hogy mikrobálisan, és fizikai, kémiai, mechanikai paramétereik szempontjából stabilak, illetve tárolási, csomagolási, szállítási tulajdonságaik kiválóak legyenek. Mindezek mellett magas beltartalmi jellemzőkkel rendelkezzenek, melyek alkalmasak funkcionális táplálékok és táplálék-kiegészítők előállítására. Az előbb felsorolt tartósítással kapcsolatos igények kielégítésére csak néhány szárítási eljárás megfelelő, jelenlegi ismereteink szerint a legkíméletesebb vízelvonási módszer a vákuum-fagyasztva szárítás. A liofilezett termékek jobb minősége oda vezethető vissza, hogy a vízelvonáskor alkalmazott hőmérsékletek jóval kisebbek, mint hagyományos szárításkor, másrészt arra, hogy a hagyományosan szárított termékekre jellemző denaturálódási folyamatok nem következnek be. Liofilezéskor belső diffúzió nem jön létre, mert a szublimáció a felületen megindulva fokozatosan mélyebben fekvő rétegekre terjed ki, a jég közvetlenül gőzzé alakul.

Ezért dolgozatomban olyan termékminőséget befolyásoló tényezők vizsgálatára helyeztem a hangsúlyt, melyek figyelembe vétele a jelenségek-folyamatok, összefüggések és hatások megismeréséhez nélkülözhetetlenek. Céljaim vizsgálatára és a feltett kérdéseim megválaszolására két szárítási eljárást (konvektív- és vákuum-fagyasztva szárítás) helyeztem a kutatási analízisem és szintézisem középpontjába. A kutatómunkám ennek megfelelően a következő főbb célokat tűzte maga elé:

- A szárítmányok minőségét befolyásoló technológiai jellemzők megismerése egységes szemléletű értékelésének kidolgozása.
- A gyümölcs- és zöldségszárítmányok hő- és anyagátadási folyamatban

történő vizsgálata és jellemzése. A célkitűzést indokolja, hogy a különböző szakirodalmakban véleményem szerint a liofilizált kertészeti termékekre vonatkozó hő- és anyagtranszport-folyamatok leírása nem teljes.

- A szárítási vizsgálatok adta lehetőségek felhasználásával megállapítani mérőműszeres vizsgálatokon alapuló elemzésekkel a beltartalmi összetevők változását a vízelvonás hatására.
- Kísérleteket lefolytatni zöldség- és gyümölcszsáritmányok visszanedvesedésével kapcsolatban. Olyan modellt készíteni, amely matematikai megjelenésében egységes, és a rehidráció folyamatát valóságként képes szimulálni.
- Felületi szilárdság megállapítása és elemzése a különböző módszerekkel dehidrált anyagok esetében.
- A zsáritmányok szövettani vizsgálatával bebizonyítani a vízelvonás következtében létrejövő károsodást a zöldség- és gyümölcshélesek textúrájában.

A meghatározott célok eléréséhez első lépésként szakirodalmi elemzést végeztem. A témának igen átfogó szakirodalma van, aminek teljes részletes elemzése annak nagy terjedelme miatt lehetetlen, ezért csak a témához szorosan kapcsolódó részeket ismertetem. A szakirodalomban előforduló vizsgálati módszerek, vizsgálati eredmények segítségével dolgoztam ki az általam alkalmazott kutatási eljárásokat és eszközöket a célként megfogalmazottakhoz.

2. SZAKIRODALMI ÉRTÉKELŐ ELEMZÉS

A szárítás gyakran és előszeretettel használt módszere az élelmiszerek tartósításának. A szárított zöldségek, gyümölcsök szárítási technológiájának lényege a légszárítás (konvekciós szárítási módszer), amelynél a levegő funkciója kettős: a hő átadása a termékben lévő víz elpárolgatásához, és a keletkezett vízgőz elszállítása. Ennek az eljárásnak ma már köztudottak a hátrányai. Az erősen pusztító hatású hőmérséklet következtében a termék nagyméretű zsugorodása, bőrösödése, a beltartalom degradálódása következik be. A víz a termék felületéről párolgással távozik el, és a párolgó víz utánpótlása a belsőbb rétegekből diffúzióval történik. A belső részekből a felület felé diffundáló víz mozgása során oldott anyagokat visz magával, amelyek a felületen a víz elpárolgása után visszamaradnak, koncentrálnak. Ily módon oldott anyagokban gazdag réteg képződik, mely gátolja a szárított termékek vízfelvételét és rontja az élelmiszer kolloid anyagainak hidrofíli tulajdonságait. További hátrányként említhetem meg a fehérjék nagymértékű denaturálódását (*Jankóné, 2006*).

A magas hőmérsékletű, hagyományos szárítási módszerekkel szemben a fagyasztva szárítás sok szempontból előnyösebb, a legjobb minőségű élelmiszer-száritmányok állíthatók elő.

A zöldség- és gyümölcszsárítás nemcsak vízelvonó, hanem értékmegőrző folyamat is egyben. Ez akkor valósítható meg, ha olyan szárítási paramétereket alkalmaznak, amelyekkel elérhető, hogy a szárított anyag minőségi értéke, úgymint a beltartalma, a visszanedvesíthetősége, a struktúrája, és a felületi szilárdsága ne, vagy csak kis mértékben változzon.

2.1. Zöldség- és gyümölcszsárítási módszerek és eljárások

A zöldség- és gyümölcsfélék tárolása történhet feldolgozott és feldolgozatlan állapotban. Mindkét esetben a tárolásra alkalmas állapotba hozásának feltétele, hogy a bennük lejátszódó mikrobiológiai folyamatokat lelassítsuk. Ennek egyik lehetséges módja az anyag nedvességtartalmának csökkentése, amit szárítás révén érünk el. A szárítás után visszamaradt termék – megfelelő minőség esetén – könnyen regenerálódik (felveszi a vizet) ha annak előállításánál jól megtervezett technológiát alkalmaztak.

Napjainkban – a megváltozott étkezési szokások miatt – egyre nagyobb az igény a gyorsan elkészíthető ételek iránt. Ezekben pedig mind jelentősebbek a zöldség- és gyümölcszsáritmányok.

A zöldség- és gyümölcszsáritás a tartósítási eljárások egyik legrégibb eljárása. Módjai lehetnek természetesek és mesterségesek. Mindkét eljárást ma is alkalmazzák. Azt, hogy melyiket hol, a környezet, a lehetőség és az igény határozza meg (*Lengyel, 1997a*).

2.1.1. A természetes zsáritási eljárás

A természetes eljárás a zsáritás legősibb módja. A zsáritandó anyagot a nap energiája melegíti, s a hő hatására kialakult sűrűség-különbség létrehozza a zsáritólevegő mozgását. Az így kialakult klimatikus viszonyok lehetővé teszik az előkészített zöldségek, gyümölcsök megsáritását. Napjainkban is használatos ez az eljárás. Különösen a keleti országokban nagy mennyiségben zsáritanak így sárgabarackot, szőlőt és többféle gyümölcsöt. Hátránya az eljárásnak, hogy az így kiterített zsáritandó anyagok ki vannak téve a különböző légköri szennyeződéseknek. Ennek megakadályozására fejlesztették ki a napenergiás természetes zsáritókat.

A természetes zsáritásnál a napsugárzás nem mindig azonos intenzitással áll rendelkezésre. A hagyományos természetes zsáritást csak kis mennyiségű zsáritandó anyag feldolgozásánál használják. Jellemző inkább az, hogy a napenergiát egy gyűjtőszerkezettel összegyűjtik, s az időjárástól függően használják. Erre a célra napkollektorokat alkalmaznak (*Lengyel, 1997a*).

A természetes energiával való zsáritást elsősorban a magas napórákkal rendelkező országokban – Görögország, Törökország, Tunézia stb. – alkalmazzák. Hazánkban is készítettek napkollektorokat zsáritás céljára, ezekkel kapcsolatos eredményes kísérleteket végzett *Farkas et al. (1996)* és *Farkas (2004)*.

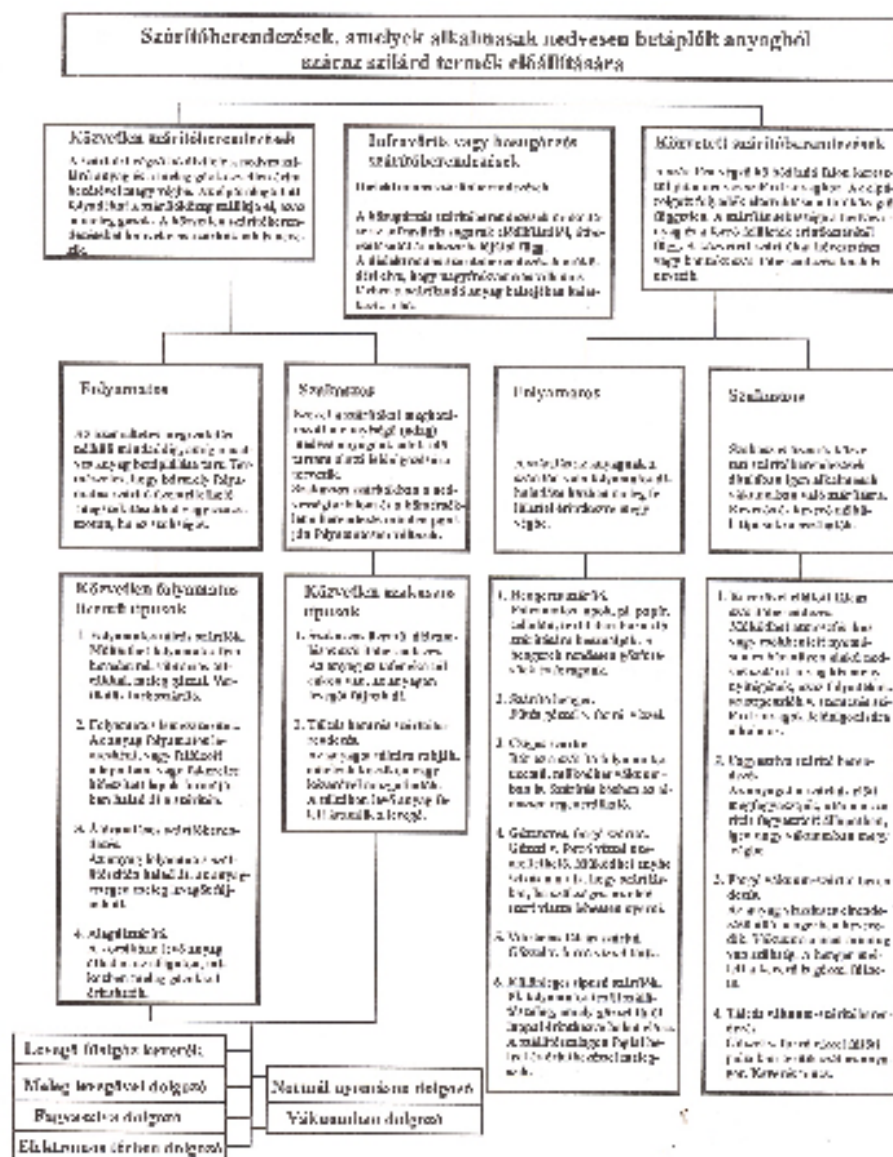
2.1.2. Mesterséges zsáritási eljárások

Mesterséges zsáritási eljárás alkalmával a környezeti levegőnél magasabb hőmérsékleten történik a nedvességtartalom csökkentése. A nedvességtartalom csökkentéséhez hőt kell közölni az anyaggal, vagy olyan állapotot kell létrehozni az anyagban, hogy a nedvességtartalomnak az anyagon belüli parciális nyomása nagyobb legyen, mint a szá-

ritóközegben. Ennek a feltételnek a teljesüléséhez szükséges hőközlési módok lehetnek pl: konvektívek, kontaktok és sugárzással közvetítettek.

Mivel a zöldség- és gyümölcsfélék szárításánál a leggyakoribb a darabos vagy darabolt anyag, ezért a leggazdaságosabb hőközlési forma a konvekció. A konvektív szárítási eljárások a szárítandó anyag bevitele alapján lehet: folyamatos üzemű nyugvó anyagágyas üzem, valamint szakaszos üzemű nyugvó ágyas üzem.

A folyamatos anyagbevitelű szárítóknál a szárítandó anyagot a tálcára vagy szalagra folyamatos adagolással juttatják. Ezek a szárítást megelőző anyag-előkészítő műveletek munkaszervezése szempontjából is kedvezőbb üzeműek. Ezeket az eljárásokat a 2.1. ábra mutatja be. Látható, hogy a zöldség- és gyümölcsfélék szárításánál a kontakt szárítási módot nem, vagy csak elvétve használják (Lengyel, 1997a).



2.1. ábra. Zöldség- és gyümölcszsárító-berendezések (Forrás: Lengyel, 1997a)

Leginkább a konvektív hőközlési móddal működő szárítási eljárások terjedtek el. Munkaszervezési szempontból a folyamatos üzemű szárítók a legkedvezőbbek. A szakaszos szárító-berendezéseknél a szárítási szakaszoknak megfelelően tárolni kell az előkészített anyagokat. Munkaszervezés szempontjából kedvezőtlenebb üzeműek (Lengyel, 1997a).

Egy másik eljárás, amelynél hőelvonás hatására következik be az anyagszáradás, a liofilezés, amely kimondottan zöldség- és gyümölcsfélék, valamint élelmiszeripari termékek szárítására alkalmas. Erről a módszerről összegyűjtött szakirodalmat ismertetem a következő fejezetben.

2.1.3. Fagyasztva szárítás - liofilizálás

A fagyasztva szárítás definíciója Sattler (1983) szerint: „A fagyasztva szárítás voltaképpen vákuumszublimációs szárítás, amelynek során a nedvességet a megfagyott nedves anyagból 0 °C alatti hőmérsékleten, vákuumban a szilárd halmazállapotba viszik át (szublimálják), és így vonják el az anyagtól.”

Beke (2002b) a következő módon határozta meg a fagyasztva szárítás vagy más néven liofilizálás fogalmát: „A liofilezés a fagyasztás-száritás együttes alkalmazása. Korszerű tartósító eljárás, melynek lényege, hogy a tartósítandó anyag víz-jég tartalmát szublimációval eltávolítják. Ez a jelenleg alkalmazott legkíméletesebb szárítás.”

A fagyasztva szárítás története

A fagyasztva szárítás elve már a 19. században ismeretes volt. Először Wollaston foglalkozott e területtel, 1813-ban a Londoni Királyság Társaság előtt mutatta be kísérleteinek eredményét. Kb. 1 m hosszú üvegcső két végén egy-egy gömb volt fölforrasztva. A felső gömbben víz volt, az alsó pedig kis hőmérsékletű só-jég-keverékbe merült. Az egész rendszer vákuumszivattyúval volt leszívható. A leszívást követően a következő jelenségeket figyelték meg (Szabó et al., 1974):

- röviddel a leszívás után megfagy a felső gömbben levő víz (elpárolgó hűtés),
- ez a jég eltűnik lassacskán a felső gömbből anélkül, hogy megolvadt volna (szublimáció),
- a felső gömbből eltűnt vizet az alsó gömbben ugyancsak jéggé kristályosodva kapjuk vissza (a vízgőz kondenzációja).

Wollaston ezzel a kísérletével tulajdonképpen a „hideg” előállításának egy új módszerét kívánta ismertetni, ténylegesen azonban ez volt az első laboratóriumi kísérlet a fagyasztva szárítás bemutatására. Az eljárás lényegében a termék megfagyasztásából, a jég szublimációjából és kondenzálásából áll. Ahhoz azonban, hogy a jég olvadás nélkül menjen át gázfázisba, termodinamikailag megfelelő körülményeket kell teremteni (*Szabó et al., 1974*).

Valamivel később, a biológiai anyagok szárítására az eljárást Altman lipcsei anatómus már 1890-ben alkalmazta. 1906-ban D’Arsonval és Bordas a Francia Tudományos Akadémián mutatták be liofilező készüléküket. Az amerikai Shackell 1911-ben részletesen ismertette az eljárás felhasználását többféle biológiai anyag tartósítására. Laboratóriumi méretekből akkor lépett ki, amikor Flosdorf W. és Mudd S. a vérplazma szárítására ipari méretű készüléket konstruált. A második világháború alatt nagy mennyiségű liofilezett vérplazmát állítottak elő a hadseregek számára. Azóta ez az eljárás rohamosan terjedt el a szérum-, illetve a vakcinatermelő üzemekben.

Hazánkban ilyen célokra Szakmáry alkalmazta először ezt az eljárást a Phylaxia Oltóanyag- és Tápszertermelő Vállalatnál. Az eljárás az 1950-es évek közepétől külföldön élelmiszerek tartósítására is kezdett teret hódítani. Almási munkatársaival 1962-ben saját konstrukciójú készüléken kezdte meg kísérleti méretekből a liofilezés alkalmazását élelmiszerek tartósítására. 1966-ban Almási és Beke munkatársaikkal bevezették a kávéoldat ipari méretű liofilezését (Lio kávé) (*Almási, 1977*).

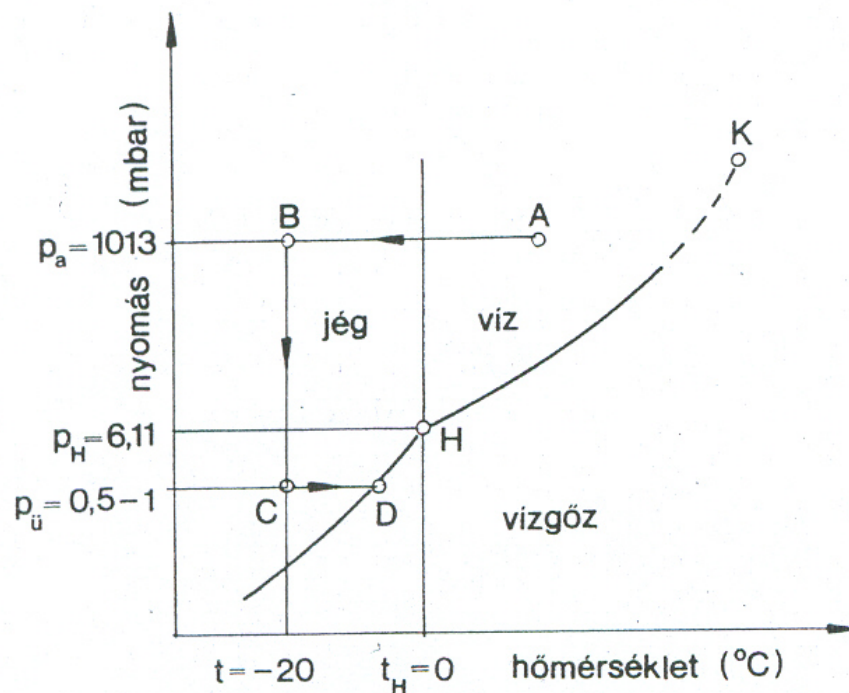
A fagyasztva szárítás elve

Fagyasztva szárítás folyamata három részműveletre bontható:

- a termék előfagyasztása $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletre,
- szublimációs szárítás,
- utószárítás.

A folyamat elve (a részműveletek során bekövetkező állapotváltozások a víz fázisdiagramja alapján) a 2.2. ábra segítségével követhető nyomon. Az előfagyasztás során a termék nedvességtartalmának nagy részét mélyhűtéssel kifagyasztjuk (A-B szakasz). Ezután az anyag egy vákuumkamrába kerül, ahol a nyomást a hármasponti határérték (H) – 6,11 mbar (611 Pa) – alá, $p_{\text{ü}} = 0,5\text{--}1$ mbar (50–100 Pa) értékre csökkentjük (B-C szakasz). A szublimációs szárítás során a termék hőmérsékletének növelésével a jég-kristályokat elpárologtatjuk (C-D szakasz). Az utószárítás feladata a mélyhűtés során ki nem fagyott folyadék elpárologtatása, amely általában a szublimációval egy időben

megy végbe, a termék azon részén, amelynél a szublimációs szárítás már megtörtént (Várszegi, 1995).



2.2. ábra. A fagyasztva szárítás elve

(Forrás: Várszegi, 1997)

Az előfagyasztás a fagyasztva szárítón kívül is történhet, menete, módszere megegyezik a szokásos fagyasztási eljárásokéval.

A szublimációs szárítás szempontjából rendkívül fontos a fagyasztás során a termék belsejében kialakuló mikrostruktúra. A szublimációs szárítás folyamatát, a végtermék minőségét ugyanis jelentősen befolyásolja, hogy hogyan helyezkednek el a jégkristályok az élelmiszer vázán belül, mekkora a méretük és milyen állapotban vannak (Lorentzen, 1975).

A fagyasztás során a jégkristályok némileg átalakítják a termék eredeti szerkezetét. A jégkristályok összefüggő rendszere által meghatározott, új belső struktúrának olyannak kell lennie, hogy lehetővé tegye a szublimáció során keletkező vízgőz könnyű távozását az anyag belsejéből a felszínére. Ez a folyamat a fagyasztás során a termék belsejében kialakuló kapilláris csatornarendszeren keresztül megy végbe. A fagyasztás sebességével szabályozni tudjuk a kialakuló jégkristályok számát és méretét. Lassú fagyasztás esetén nagy kristályok jönnek létre, amelyek roncsolják a sejtfalat is. Az így kialakuló

belső szerkezet nem kívánatos a fagyasztva tartósított termékeknel, ugyanakkor előnyös lenne fagyasztva szárításkor. A gyakorlatban olyan fagyasztási sebességet alkalmazunk, ahol az előfagyasztás valahol félúton van a lassú és a gyorsfagyasztás között.

A fagyasztás során a termékben levő kötött nedvesség egy része az eutektikus pontnak megfelelő oldatként fagy meg. Cukortartalmú oldatok esetén ilyenkor a jég ún. üvegszerű állapotba kerül, a kristályosodás megáll. Az üvegszerű állapot akadályozza a páradiffúziót, így hátráltatja a szublimációt is, ezért kerülni kell, illetve meg kell szüntetni. Ez megfelelő hőmérsékletű kezeléssel, illetve adalékanyagok segítségével, hab formában való fagyasztással lehetséges.

A fagyasztva szárítás folyamatát nemcsak az előbbiekben vázolt ún. mikroszerkezet, hanem a termék makroszerkezete is befolyásolja, ezért vagy a fagyasztást megelőzően aprítjuk fel az anyagot, vagy azt követően végzünk ilyen műveletet, a megkívánt részecskeméret beállítására (*Várszegi, 1995*).

A szublimációs szárítás során a termék hőmérsékletének, nedvességtartalmának és tömegének változását a 2.3. ábra mutatja. A szublimációs szárítás a fagyasztva szárító berendezés vákuumkamrájában megy végbe, miután a nyomást a korábban említett szintre csökkentettük. A szublimációhoz hőre van szükség, amelyet fűtőtestek biztosítanak. Ennek hatására a jégkristályok az anyagon keresztül elpárolognak a kamrában lévő jégkondenzátor felé. Az ábrán szemléltetett közbenső állapotban a termék felső részén már száraz felületi zóna jött létre, miközben belsejében még egy fagyasztott mag is található (a). Ennek felülete a szublimációs határréteg, amely folyamatos mozgásban van (b, a diagram alsó része). A szublimációs szárítás során e határréteghez kell a hőt eljuttatni, illetve innen kell a párárt elvezetni, ami egyidejű hő- és anyagátadást jelent.

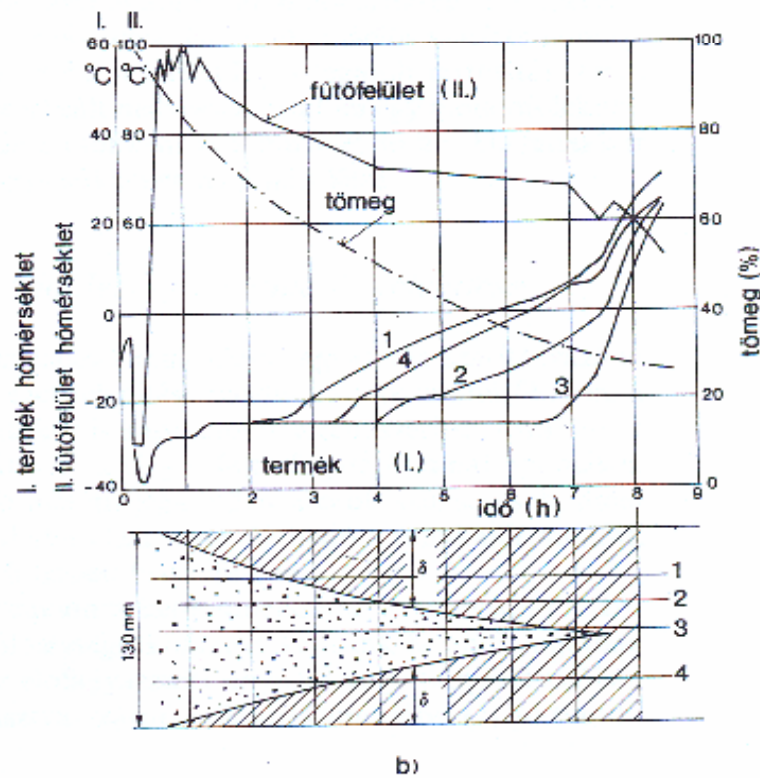
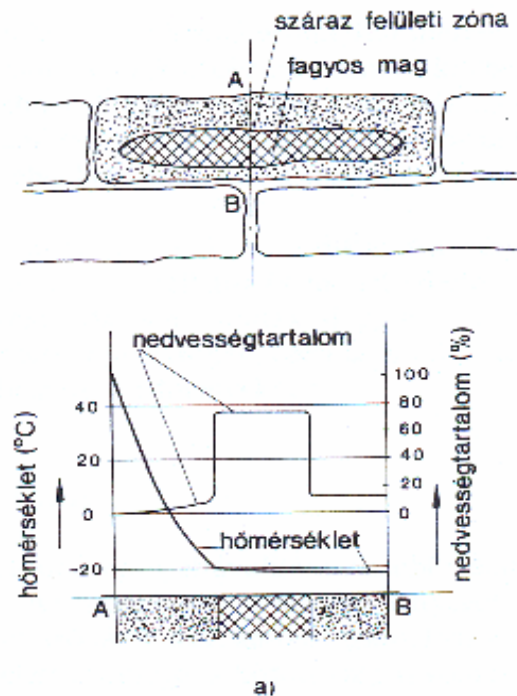
A hőátadási folyamat két részre bontható:

- hőátadás a fűtőtest és a termék felülete között,
- hőátadás a termék felülete és a szublimációs határréteg között, a száraz felületi rétegen keresztül (*Várszegi, 1995*).

A termék felületének melegítése kontakt fűtéssel vagy sugárzással lehetséges, általában ez a legelterjedtebb. *Szabó (1987)* szerint a hőközlés mikrohullám alkalmazásával is megoldható. Az előbbi esetben a fűtőfelület, amely sík vagy bordázott lemez, közvetlenül érintkezik a termékkel, az utóbbinál pedig legalább 10 mm távolság van a kettő között. Az újabb fagyasztva szárítóknál sugárzó fűtéssel találkozunk. Az anyagon belül a hő vezetéssel terjed a szublimációs rétegig, amit jelentősen befolyásol a termék belső szerkezete.

Az anyagátadás iránya ellentétes a hőátadásával, és szintén két részre bontható:

- páradiffúzió a szublimációs határrejtegtől a száraz felületi zónán át a termék felületére,
- majd tovább, a jégkondenzátorhoz.



2.3. ábra. Hőmérséklet, nedvességtartalom, tömegváltozás fagyasztva szárításkor

(Forrás: Várszegi, 1997)

Ha a párákat nem sikerül elszállítani a szublimációs határrétegtől, a nyomás növekedni fog a határréteg felett, ami a hőmérséklet növekedését okozza, és a fagyott mag olvadáshoz, a porózus belső szerkezet összeomlásához vezethet. Tehát a szublimációs határréteg felett a gőztenzió sohasem haladhatja meg azt az értéket, amelyhez tartozó hőmérsékletnél megszűnik a jégkristályok kemény, szilárd állapota. Ugyanakkor e határértéket megközelítő nyomásra kell törekednünk, mert így nő a gőzfázis hővezető képessége, a páraeltávolítás hajtóereje és csökken a pára fajtérfogata. Ezek a tényezők összességében javítják a száradás sebességét. A vízgőz diffúziójának sebessége jelentős mértékben függ az előfagyasztás során kialakított mikroszerkezettől, a pórusok, kapillárisok méretétől, elrendeződésétől is. Ennek jellemzésére a Knudsen-szám szolgál (K_n):

$$K_n = \frac{X_m}{l}, \quad (2.1)$$

ahol: X_m a gőzmolekulák közepes szabad úthossza, l az anyagban lévő pórusok, kapillárisok jellemző geometriai mérete.

Ha $K_n > 1$, a gőzmolekulák főleg a pórusok falának ütköznek áramlás közben, és ilyenkor molekuláris áramlásról beszélünk. Ha $K_n < 1$, a gőzmolekulák mozgás közben főleg egymásnak ütköznek, ami megfelel a normál áramlási formáknak, amely a Reynolds-számtól függően lehet lamináris, turbulens vagy átmeneti áramlás.

A szublimáció során tehát egyidejű hő- és anyagátadás játszódik le. Amennyiben a mikrostruktúra ismert, geometriailag definiálható és modellezhető, az egész folyamat számítható a hő- és anyagátadásban tanultak alapján. A valóságban a művelet során az anyag belső szerkezete változik, ezért csak laboratóriumi vizsgálatok alapján kapunk megbízható eredményeket (*Várszegi, 1995*).

Az utószárítás feladata a nem kifagyott nedvesség eltávolítása a szublimációs szárításon már átesett felületi rétegből. Az utószárítás egyébként lényegében megfelel bármilyen más szárítási eljárás utolsó fázisának, amikor szabad víz már nincs az anyagban, és a hőmérséklet emelése szükséges a kötött víz eltávolításához. Élelmiszerek fagyasztva szárításánál általában nincs szükség erre, illetve a vákuum csökkentésére, az utószárítás ugyanis a szublimációs szárítás nyomásán, azzal párhuzamosan megy végbe. Elméletileg a legjobb tartósítási eredmény akkor érhető el, ha az adszorbeált nedvességtartalom egy monomolekuláris rétegnek megfelelő mennyiségre csökkent le a művelet során. Ugyanakkor vigyázni kell, hogy túlzott térfogatcsökkenés ne jöjjön létre (*Várszegi, 1995*).

Szabó (1987) szerint a fagyasztva szárítás folyamán legnehezebb azt a maradék vizet eltávolítani, amely a jég teljes eltűnése után kötött állapotban marad vissza. Ezt 0 °C feletti hőmérsékleten izoterm deszorpcióval vonják el, hogy a megfelelő maradék nedvességre és a jó eltarthatóságra a terméket be lehessen állítani. Ez a művelet meglehetősen rossz hatásfokú és megvalósítása termodinamikai szempontból nehézkes.

Hőközlés a fagyasztva szárítás alatt

A liofilező berendezésekben a legnagyobb probléma a jégszublimáció fenntartásához szükséges hő bevitele. Viszonylag nagy hőmennyiség közlése szükséges a szublimáció folytonosságának fenntartására. Alkalmazzák a sugárzásos, konvekciós és kontakt hőközlési módokat, továbbá a nagyfrekvenciás melegítést is (*Almási, 1977*).

Hőközléskor, amelynek intenzívnek kell lennie ahhoz, hogy a fagyasztva szárítás folyamata ne nyúljon hosszúra, a következő problémák megoldása okoz nehézséget.

Adott hőközlési mód mellett az intenzitás a fűtőfelület hőmérsékletének emelésével növelhető, de ennek határt szab, hogy fagyasztva szárítás közben az élelmiszernek nem szabad felengednie. Ennek folytán csak annyi hő közölhető az élelmiszerrel, amennyit a jég szublimációja elvon. *Tömösy (1981)* is hasonló következtetésre jutott, szerinte, hogy az anyag ne olvadjon meg, az eltávozó vízgőzmolekulákat olyan gyorsan kell eltávolítani, hogy azok ne érhessék el a száradó anyag felett a telítési gőznyomást. Ez az eljárás vákuumban és atmoszférikus nyomáson is elvégezhető.

Ugyanakkor kívánatos, hogy az élelmiszer felületének hőmérséklete a kiszáradt réteg kialakulása után se emelkedjék +40 - +60 °C fölé. A hőközlés módjának olyannak kell lennie, hogy szabad párologófelület maradjon az élelmiszeren a jég elszublimálódásához. Bonyolulttá teszi még a problémát az, hogy a hőt szinte a liofilezés megkezdésének pillanatától kezdve kell az élelmiszer felületén kialakuló rossz hővezető képességű, szivacsos rétegen keresztül a szublimációs szinthez vezetni. Mivel a szublimációs szint fokozatosan beljebb húzódik, és így az élelmiszerben a szivacsos réteg vastagsága állandóan növekszik, a hő vezetése az élelmiszeren belül csökken (*Almási, 1977*).

Az élelmiszerrel a jég szublimációjának lehetővé tételére

$$Q_1 = \Delta S \cdot r, \quad (2.2)$$

hőmennyiséget kell közölni,

ahol: Q_1 az óránként közlendő hőmennyiség [kJ/h], ΔS óránként eltávozó vízmennyiség [kg/h], r a jég szublimációs hője [2830 kJ/kg].

Ugyanakkor a fűtőlapokkal

$$Q_2 = k \cdot A_h \cdot (t_h - t_f + t_f - t_{sz}) \quad (2.3)$$

hőmennyiséget tudunk az élelmiszerrel közölni,

ahol: Q_2 az óránként közlendő hőmennyiség [kJ/h], A_h a hőközlő felület [m²], t_h a hőközlő felület hőmérséklete [°C], t_f az élelmiszer felületének hőmérséklete [°C], t_{sz} a szublimációs szint hőmérséklete [°C].

A hőátzármaztatási tényezőt (k) az alábbi képlettel számoljuk,

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{\delta}{\lambda}}, \quad (2.4)$$

ahol: k a hőátzármaztatási tényező [W/m²K], α a hőátadási tényező [W/m²K], δ a liofilezett réteg időben növekvő vastagsága [m], λ a liofilezett réteg hővezetési tényezője [W/mK].

Ez utóbbi érték is változik a nyersanyag féleségétől és a maradéknyomástól függően. A liofilezés közben fenn kell állnia a következő egyenlőségnek oly módon, hogy

$$Q_1 = Q_2, \\ t_f \leq +60 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

A liofilezés folyamatát folytonosan ellenőrizni kell, mivel az - mint látjuk - bonyolult és különböző paraméterek feltétlen betartását igényli (*Almási, 1977*).

Az egyik ellenőrzési mód a hőmérséklet mérése a liofilező berendezés megfelelő pontjain. Erőteljes fűtés után a fűtést csökkentve a liofilezés végét a hőmérsékletek kiegyenlítődése jelzi. Ha a termikus középpont hőmérséklete 0°C fölé emelkedik, tehát jelzi, hogy a jég teljes mértékben szublimálódott, de a liofilezés még nincs bejezve. A szublimációs szakasz befejezte után a deszorpciós szakasz következik, amelynek során az adszorbeálódott víz jelentős része eltávozik (*Almási, 1977*).

A fagyasztva szárítás időtartama

A szárításhoz szükséges időtartamot kísérletileg kell meghatározni. Ha a teljes nedvesség jég formájában van jelen, és p_s szublimációs nyomáson, valamint T_s szublimációs hőmérsékleten a szublimációs nyomásgörbe lefutásának megfelelően megy végbe a szárítás, akkor a felületegységenként szublimáló gőzáram ($m_{D,A}$),

$$m_{D,A} = \frac{q}{\Delta H_{s,f}}, \quad (2.5)$$

ahol: q a megengedett fűtőfelület-terhelés, $\Delta H_{s,f}$ a szublimációs entalpia [kJ/kg].

A δ réteg-vastagságú nyugvó nedves anyag szárításához szükséges t_g időtartamot a következő összefüggéssel lehet megbecsülni:

$$t_g = \rho_E \cdot X_G \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \Delta H_{s,f} \cdot \left[\frac{1}{k} + \frac{\delta}{2\lambda} + \frac{\delta}{2\Delta H_{s,f} \cdot D_e} \cdot \left(\frac{dT}{dp} \right) \right] \cdot \delta, \quad (2.6)$$

ahol: ρ_E a jég anyagsűrűsége [kg/m³], X_G az anyag kezdeti nedvességtartalma [kg/kg], ε az anyag porózussága, k a hőátzármaztatási tényező [W/m²K], δ az anyag rétegvastagsága [m], λ az anyag hővezetési tényezője [W/mK], D_e az effektív diffúziós együttható [m²/s], dT/dp a szublimációs nyomásgörbe irántangense t_s -nél (*Sattler, 1983*).

A fagyasztva szárítást a többi élelmiszeripari szárítási eljáráshoz viszonyítva magas gyártási költség jellemzi, mert nagyok a beruházási és az üzemeltetési költségek is (*Mujumdar, 1987*). Az utóbbira hátrányos az is, hogy nagyobb rétegvastagság esetén a szárítás időtartama sokszor a 10-30 órát is meghaladja. *Beke (2002a)* szerint az üzemeltetési költségek redukálása a szárítási idő csökkentésével, a hőközlés intenzifikálásával és az energiahasznosítás javításával érhető el.

Zöldség-gyümölcsfélések közül ezért ezt a szárítási módszert főleg intenzív aromájú folyékony (folyósított) vagy darabos gyümölcsfélések (pl. narancs, málna, szamóca, ananász, banán stb.), valamint gombafélék, hús, hal szárítására alkalmazzák (*Burits, 1974*). *Hammami és René (1997)* szerint a liofilizálás ipari alkalmazása olyan élelmiszerek tartósítására korlátozódik, amelyeknél a kiindulási nyersanyag magas ára folytán a drága tartósítás költségei az árban százalékosan csak kis részt tesznek ki. Az előbb felsorolt termékeken kívül, ilyen lehet még a kávé- és a teaoldat.

2.2. A hő- és anyagátadási folyamat vizsgálati megoldásainak bemutatása

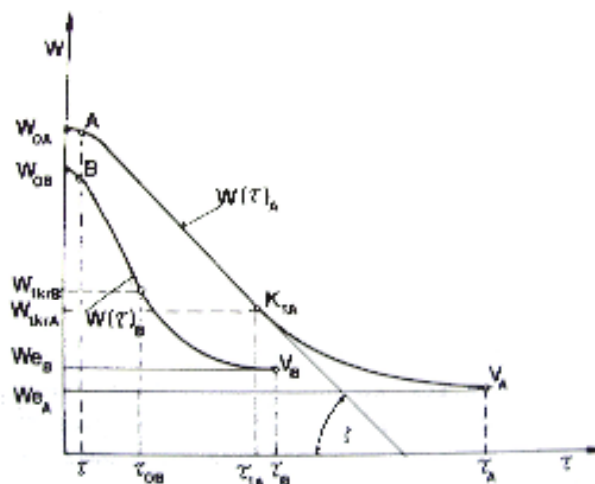
A szárításelmélet alapvető analitikai és kísérleti kutatások során jött létre. A különböző folyamatok (szárítás, sütés, nedvesítés) kutatása molekuláris-kinetikai és termodinamikai úton történik. Az első tette lehetővé a nedves kolloid-kapilláris-pórusos anyagokban fázisátalakulások keletkezése és jelenléte mellett a hő- és anyagátvitel elméletének kidolgozását. A második módszer a klasszikus termodinamika ismert törvényszerűségein alapul. Ennek segítségével vizsgálják a mozgatóerők véges energetikai hatását. Az anyag molekuláris szerkezetét és a folyamat mechanizmusát nem vizsgálják.

A szárítási folyamat lefolyásának jellegét legteljesebben a szárítási görbék, a szárítási sebességgörbék és a hőmérsékletgörbék írják le (Ginzburg, 1976).

A következőkben hagyományos szárítási eljárások hő- és anyagátadási folyamatokkal kapcsolatos szakirodalmi információkat foglalom össze.

2.2.1. Szárítási görbék

A szárítási görbék az anyag átlagos nedvességtartalmának változását jellemzik az idő függvényében. A száradáskor az anyag nedvességtartalma csökken, és ezt az idő függvényében ábrázolva a $w = w(\tau)$ függvényt kapjuk, amely a szárítási görbe, s alakja a 2.4. ábrán látható, az anyag jellegétől, a szárítás körülményeitől függően $[w(\tau)_A, w(\tau)_B]$ (Imre, 1974).



2.4. ábra. A nedvességtartalom alakulása az idő függvényében a szárítás alatt

(Forrás: Imre, 1974)

A folyamat kezdetén az anyag nedvességtartalmát görbe vonal jelzi (az anyag kezdeti igen rövid ideig tartó melegítés szakasza), majd pedig egyenes vonal. A nedvességtartalom csökkenésének lineáris jellege miatt a szárítás első szakaszát állandó sebességű szakasznak hívjuk.

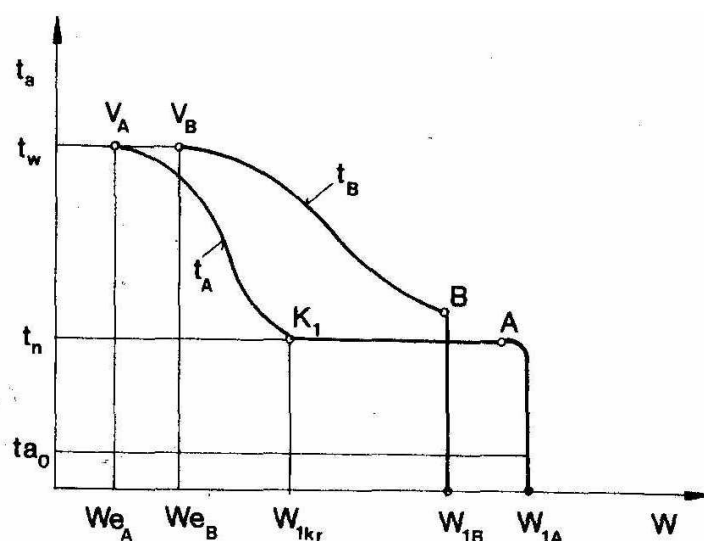
Bizonyos nedvességtartalom-értéknél a nedvességtartalom változásának sebessége csökken (K_{1A}), ezzel megkezdődik a szárítási folyamat második, a csökkenő sebességű szakasza.

A szárítás végén a szárítási görbe aszimptotikusan közeledik az abszcisszatengelyhez (V_A , V_B). Az egyensúlyi nedvességtartalmat elérve a száradás megszűnik, így a szárítás sebessége 0-val lesz egyenlő.

Vékony anyagok felmelegítési szakasza olyan rövid, hogy nem is látszik a szárítási görbén. Vastag anyagoknál, amelyeket kis nedvességvezető-képesség jellemez, az anyag felületéről történő, aránylag intenzív nedvességátadás esetén előfordulhat, hogy az állandó sebességű szakasz hiányzik (Ginzburg, 1976).

2.2.2. Hőmérsékletgörbék

A száradás lefolyása a hőmérséklet-görbével is pontosan jellemezhető. Az anyag hőmérséklet-változását a száradási idő függvényében ábrázoló görbe fontos információt nyújt az anyag hőérzékenysége, illetve hőkárosodására nézve (Berki, 1991).



2.5. ábra. Az anyaghőmérséklet alakulása A és B anyagok nedvességtartalmának változásakor

(Forrás: Lengyel, 1995a)

Emellett igen fontos szerepet tölt be a nedvességleadás folyamatában az anyag hőmérsékletének változása, amelynek alakulását a 2.5. ábra mutatja. Jól látható, hogy az állandó száradási sebességű szakaszban az anyaghőmérséklet a szárítólevegő nedves hőmérsékletével (t_n) azonos. Az első kritikus pont elérése után a közölt hő egy része párolgásra, más része az anyag hőmérsékletének növelésére fordítódik (Lengyel, 1995a).

2.2.3. A fagyasztva szárítás során lejátszódó hő- és anyagtranszport folyamatok

A hagyományos szárítás művelete során a víz folyékony állapotból gőz állapotba való közvetlen átmenet révén távozik a rendszerből. Szublimációs szárításkor a víz fagyott állapota miatt oldattranszport nem lehetséges. A folyamat során a szublimációs front vándorol a felszíntől az anyag belseje felé, tehát a fagyott réteg vastagságának állandó csökkenése mellett a száraz réteg vastagsága állandóan nő. Az anyag- és hőtranszportnak a művelet során ezen az állandóan növekvő vastagságú száraz rétegen keresztül kell lebonyolódnia, ami természetesen befolyásolja a folyamat sebességét és idejét is.

A liofilizálás szárítási görbéi

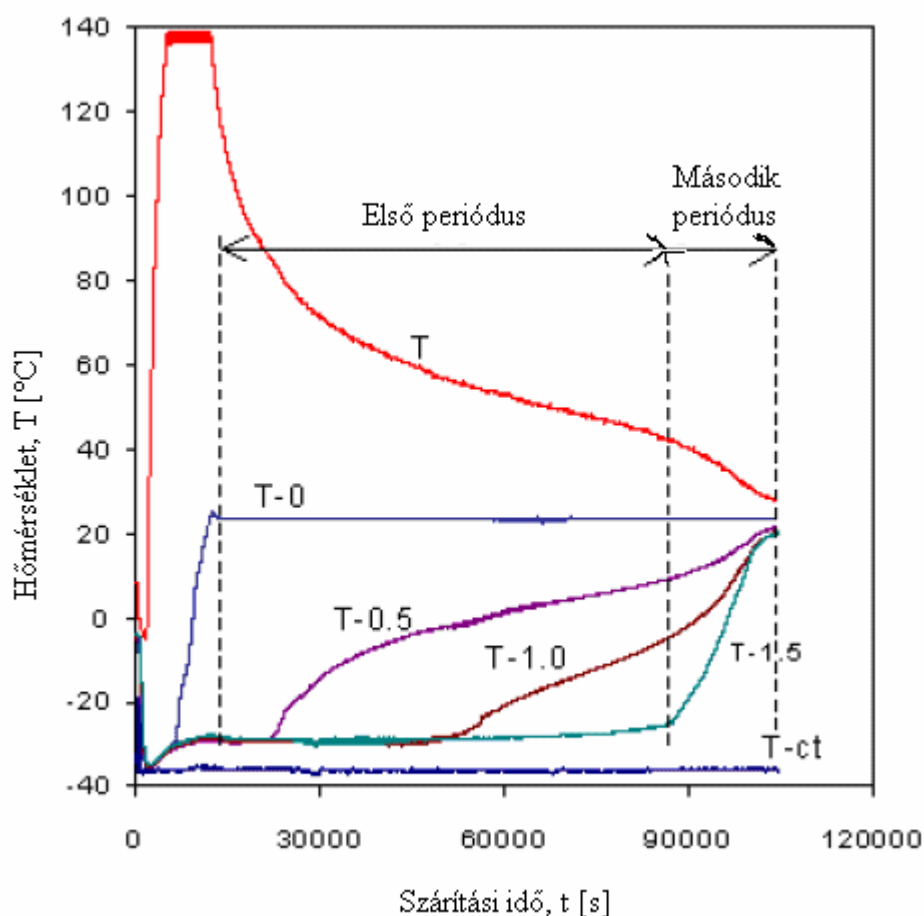
A liofilizálás szárítás-kinetikai görbéje, hasonlóan a konvekciós hőközlésű szárítás elméleténél (2.2.1. fejezet) felvázoltak szerint, három szakaszra bontható. Az első az állandó sebességű szakasz az első kritikus nedvességtartalomig, ahol az anyag lassú felmelegedését követően egy lineáris csökkenő jellegű görbe jellemzi a nedvességtartalom csökkenését. Itt meg kell jegyezni, hogy a görbe jobban elnyúlik, nem olyan meredek, mint a konvektív módszerrel szárított anyagokra jellemző szárítási görbénél (ennek okát a 2.1.3. fejezetnél – Hőközlés a fagyasztva szárítás alatt – ismertettem). A második szakasz kezdetét az anyag száradási sebességének csökkenése jelenti, melynek megjelenését a görbében az inflexiós átmenet jelzi. A nedvesség kellő mérvű eltávoztatása után az anyagban más nedvességvezetési formák jutnak szerephez, és a száradási sebesség az anyag szerkezeti felépítésétől függő módon csökken, és közeledik a konstans értékhez. A szárítási folyamat végét a végnedvesség elérése jelenti (3. szakasz).

A fagyasztva szárítás hőmérsékletgörbéi

A vákuum-fagyasztva szárítás hőmérsékletgörbéjének lefutását a 2.6. ábra mutatja a szárítási idő függvényében. Releváns különbség fedezhető fel a görbék lefutásában, a

konvektív módszerrel szárított anyagok és a liofilizált anyagok között. A konvektív szárításnál a minta hőmérséklete gyorsan nő általában $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ feletti maghőmérsékletéről a szárítóközeg hőmérsékletének hatására, a folyamat végére pedig értéke a szárító levegő hőmérsékletéhez fog közelíteni (Ginzburg, 1979). Tehát a szárítási folyamat során az anyag hőmérséklete csak pozitív tartományba esik, így a nedvességtartalom folyékony állapottól közvetlenül gőz formájában távozik el a szárítandó anyagból.

Fagyasztva szárításnál a szárítandó terméket (T-0, T-0.5, T-1.0 és T-1.5 jelzésű görbék) lefagyasztják a hármasponti határérték alá, és a szöveti víz jégkristályokká alakul át. Mikor ez bekövetkezik, akkor lassú intenzitású hőközlés alkalmazásával – hogy az anyag fel ne engedjen – megkezdődik a szublimáció (ez az első periódus). A teljes kiszáradás – egyébként a második szakasz – akkor kezdődik, amikor az anyag geometriai közepének hőmérséklete a fűtőlap hőmérsékletét (T) megközelíti. A liofilezés befejezéséről (izoterm deszorpció-második periódus) az anyag középpontjának hőmérséklete tájékoztat. Amikor a magban lévő jégkristályok is elszublimáltak, és az anyag hőmérséklete megegyezik a fűtőlapok hőmérsékletével, akkor a liofilezés befejeződött.



2.6. ábra. Hőmérséklet-változás liofilizált termék esetében

(Forrás: Tambunan, 2000)

Így az anyaghőmérséklet-görbék lefutása a következőképpen alakul liofilizált anyagok esetében: csökkenő szakasz negatív csúccsal, lineárisan növekvő szakasz, és konstans szakasz a pozitív hőmérséklettartományban.

A liofilizálás során lejátszódó hő – és anyagátadási folyamatokkal bővebben *Tambunan (2000)*; *Wang és Mao (2002)*; *Jafar és Farid (2003)*; *Sagara et al. (2005)* foglalkoztak.

2.2.4. A szilárd anyagok nedvességtranszport folyamatainak modellezése

A szárítás folyamán végbemenő hő- és anyagátadás összetett folyamat, amelynek matematikai leírására közelítéseket alkalmazunk. A közelítő megoldások konkrét alkalmazását tovább nehezíti az anyagokra jellemző mennyiségek ismeretének hiánya. Ezért a kísérleti adatokra támaszkodó félempirikus módszerek alkalmazása az általános.

A kísérletek során a nedvességtartalom csökkenését vizsgáljuk az idő függvényében, és állandó szárítóközeg hőmérséklet mellett. Az így kapott görbét a szárítás kinetikai görbéjének nevezzük. A görbe irántangense adott helyen a szárítás pillanatnyi sebességét adja (*Sitkei, 1981*).

A kinetikai görbe alakja vékony rétegű szárítás esetén közelítőleg matematikailag leírható. Az általános szárítási elmélet szerint a vízelvonás sebessége a parciális nyomások különbségével arányos (A vékony rétegű szárítás esetén tehát azt feltételezhetjük, hogy a szárítás pillanatnyi sebessége arányos a parciális nyomások különbségével.).

$$\frac{dX}{dt} = -A(p_f - p_k), \quad (2.7)$$

ahol: dX/dt a száradási sebesség [kg/kg/min], A az anyag felülete [m²], p_f a parciális gőznyomás az anyag felületén [Pa], p_k a parciális gőznyomás az áramló szárítóközegben [Pa].

A parciális gőznyomások kifejezhetők a relatív páratartalommal, s ekkor a fenti egyenlet (2.7) így írható

$$\frac{dX}{dt} = -Ap_{gt}(\varphi_f - \varphi_k), \quad (2.8)$$

ahol: p_{gt} a telített gőznyomás adott középhőmérsékleten [Pa], φ_f a relatív nedvességtartalom az anyag felületén [%], φ_k a relatív nedvességtartalom az áramló szárítóközegben [%].

Bizonyos nedvességtartalom-határok között a szorpciós izoterma közelítőleg lineárisan változik, ezért az egyenlet leegyszerűsíthető

$$\frac{dX}{dt} = -k(X - X_e), \quad (2.9)$$

ahol: X_e az egyensúlyi nedvességtartalom az adott hőmérsékleten (meghatározása szorpciós izotermák felvételével történik) [kg/kg].

A (2.9) egyenlet integrálásából a következő egyenlet adódik, mely *Lewis* (1921) nevéhez fűződik:

$$\frac{X - X_e}{X_i - X_e} = e^{-k \cdot t}, \quad (2.10)$$

ahol: X_i a szárítandó anyag kezdeti nedvességtartalma [kg/kg], t a szárítási idő [h].

Az egyenlet bal oldalán álló kifejezést nedvességviszonynak (Y) nevezzük, amely a szárítás folyamatát írja le az egyensúlyi nedvességtartalom eléréséig. A jobb oldali kifejezés a folyamat lefutásának jellegét mutatja. A kitevőben szereplő k invariáns a vízelvonási folyamat néhány lényeges körülményét magába foglaló szárítási tényező. Értéke függ a szárítóközeg hőmérsékletétől, relatív nedvességtartalomtól, illetve a parciális nyomáskülönbségektől (*Sitkei, 1981; Beke, 1997*).

2.3. A gyümölcs- és zöldségszárítmányok meghatározó értékmérő jellemzői

A gyümölcs- és zöldségszárítmányok minősége alapvető szerepet játszik a termék értékének megállapításában. Ezért szükséges, hogy szabatos minőségi jellemzőket lehessen megállapítani a betakarítást követő folyamatok során is. Tehát a szárítmányoknak meg kell felelnie a szárított állapotban előírt és főzött vagy rehidrált állapotban előírt követelményeknek.

A szárítás technológiai szintjének emelésével szükségessé és egyúttal természetessé válik, hogy a szárított gyümölcs- és zöldségfélét a műszaki gyakorlatban megszokott minőséget meghatározó paraméterekkel jellemezzék, úgymint:

- Kémiai tulajdonságok, pl. beltartalmi jellemzők.
- Mechanikai tulajdonságok, pl. keménység.
- Fizikai tulajdonságok, pl. duzzadás (visszanedvesedés).
- Biológiai tulajdonságok, pl. szöveti szerkezet.

Természetesen az előbb felsorolt tulajdonságok jellemzésén kívül számtalan paraméter létezik. A doktori munkám során csak a fent közölt jellemzőkkel foglalkoztam, melyek szakirodalmi elemzését kívánom a következőkben összefoglalni.

2.3.1. Beltartalmi jellemzők, kémiai összetétel

A szárított zöldségek és gyümölcsök legfontosabb minőségi jellemzőinek egyike a kémiai összetétel. A szárítmányok beltartalmi értéke a technológiai és táplálkozás-élettani szempontból fontos összetevők összessége, ami műszeres vizsgálattal, laboratóriumi eszközökkel objektív módon mérhető.

Az élelmiszer-vizsgálati módszerek szabványosításával nemzetközi szervezetek foglalkoznak. A nemzetközi szervezetek mellett az egyes országokra érvényes törvényerejű előírásokat saját nemzeti szervezetek dolgozzák ki. Az előírások legfontosabb célja a fogyasztók egészségének védelme és azon kockázatok valószínűségének csökkentése, amelyek a fogyasztó gazdasági, élelmiszer-egészségügyi veszélyeztetését okozhatják (*Lásztity, 1995*).

Az élelmiszer-analitikai elemzés fő lépései

1. A célnak megfelelő, szabványos módszer kiválasztása. A módszer kiválasztásának legfontosabb szempontjai a mérés teljesítményére jellemző mutatók: szelektivitás, pontosság, megbízhatóság, kimutathatósági határ, érzékenység, a mérőgörbe lineáris tartománya és a méréstartomány.

2. Reprezentatív mintavétel. Amennyiben a mintát a megbízó hozza, rögzítendő a mintavétel összes paramétere és a minta jellemzői (pl. a csomagolás), ha a mintavételt a feldolgozó üzem végzi, akkor, ha van érvényes szabvány, ennek az előírásai mérvadóak.

3. Minta-előkészítés. A mérendő paraméter irreverzibilis megváltozása nélkül. A leggyakoribb minta-előkészítő lépés a minta homogenizálása. Egyéb fontos minta-előkészítő eljárások ezen kívül: hamvasztás, lúgos vagy savas roncsolás.

4. A mérés kivitelezése. Az élelmiszer-analitikai vizsgálatokkal kapcsolatos legfontosabb alapfogalmak (*Felföldi és Pátkai, 2007*):

- A mérési átlagérték és szórás.
- A mérési eredmény (valódi eredmény+szisztematikus, illetve véletlen hiba).

A minősítésre alkalmas, műszeresen vizsgálható, gazdasági, illetve táplálkozás-élettani szempontból legfontosabb kémiai jellemzők (*Gasztonyi és Lásztity, 1992; Felföldi és Pátkai, 2007*):

- Összes (vízben oldható+vízben nem oldható) szárazanyag-tartalom.
- Vízben oldható szárazanyag-tartalom.
- Vízben nem oldható szénhidrátok (vízben nem oldható keményítő- és pektinfrakció, cellulóz).
- Vízben oldható szénhidrátok (vízben oldható keményítő- és pektinfrakció, oligo- és di- és monoszacharidok).
- Szerves savak: alma-, citrom-, oxál-, borkősav és sóik.
- Szervetlen savak és sóik.
- Fehérjék.
- Lipidek.
- Ásványi anyagok, makro- (fémes: nátrium, kálium, magnézium, kalcium és nemfémes: foszfor, kén, klór) és mikroelemek (vas, fluor, cink, szilícium, réz, vanádium, szelén, mangán, jód, ón, nikkel, molibdén, króm, kobalt, alumínium, bór).
- Íz- és aromaanyagok.
- Vitaminok: tokoferolok, aszkorbinsav, B-vitamin csoport.
- Színanyagok (flavonoidok, karotinoidok).

A szárítmányok beltartalmi összetevőinek változása

A gyümölcs- és zöldségfélék beltartalmi összetevői a hőközlés hatására megváltoznak. Az anyag hőmérsékletének emelésével, a nedvességtartalom csökkenésével aromaveszteségek és kémiai reakciók jönnek létre, amelyeknek eredménye a csökkent aromájú és beltartalmi összetevőjű szárítmány. A száradáskor az oldott anyagok egy része illekonyságától függő módon a vízzel együtt elpárolog.

A hő hatására létrejövő nedvességi gradiens megindítja az anyagon belüli víz vándorlását, s e miatt a felületen elpárolgó vízből visszamaradt beltartalmi összetevők hőkárosodása kezdődik meg. Minden anyagnak van egy ún. biológiai hőmérsékleti optimuma, amelyet meghaladva egyrészt a biokémiai folyamatok felgyorsulnak, másrészt az anyagok károsodnak, ez a Maillard-reakció (barnulás). *Lengyel (1997a)* szerint ezért jól kidolgozott szárítási technológiára van szükség, hogy jelentős beltartalmi veszteség ne alakuljon ki.

Vas és Beke (1980) kísérletekkel alátámasztva megállapították, hogy a magas hőmérsékletű légáram hatására a szemesterményen belül fiziko-kémiai folyamatok mennek végbe, aminek következtében a kukorica beltartalmi, illetve takarmányozási értéke módosul. Megjegyezték, hogy különösen a szárítási folyamat második, csökkenő sebességű szakaszában játszódnak le nemkívánatos folyamatok a kukoricaszemben. Szerintük ennek a fő oka az, hogy a víztartalom csökkenésével a párolgási front a mag belseje felé halad, az epidermisz pedig kissé összezsugorodik és üvegkemény vízálló réteget képez.

Lengyel et al. (1995b), illetve *Lengyel és Bodnár (2003)* a száradási folyamatban a meggy beltartalmi összetevőinek a változását – a cukortartalmat, a savtartalmat és C-vitamin tartalmat – a száradás kezdetén és a befejezésekor vizsgálták. Kimutatták, hogy a konvektív szárítás hatására magas C-vitamin csökkenés alakult ki, mely eléri a 60-70 %-ot is. Cukortartalomban más gyümölcsökhöz képest kisebb degradálódást figyeltek meg. Savtartalomban viszont növekedést regisztráltak, ennek oka, hogy a meggy savösszetevői nem hőérzékenyek. Összegezve megállapították, hogy a száradás közbeni beltartalmi tényezők csökkenése a száradási hőmérséklet csökkentésével elérhető.

Yousefi et al. (2008) gránátalma juice porlasztva szárítását végezték el, és vizsgálták a beltartalmi mutatóit a vízelvonás következtében. Kimutatták, hogy a szárítás következtében a szárítmány antocián- és polifenol-tartalma a nyersanyaghoz képest közel harmadára csökkent.

2.3.2. A keménység vagy terményszilárdság

A kertészeti termékek minőségében fontos tényező az anyag héjának és hújának állománya. Az állományjellemzésére alkalmas a keménység. A termék keménysége az emberek többsége számára egy szubjektív jellemző, amely az élelmiszerek sokféle tulajdonságának megállapításra alkalmas.

A keménység szorosan kapcsolódik a termék minőséghez, és sok vonatkozásban kapcsolódik a termék minőségének értékeléséhez is. A keménységet, mint állományjellemzőt érzékszervi minősítéssel lehet meghatározni (*Fekete et al., 2001*).

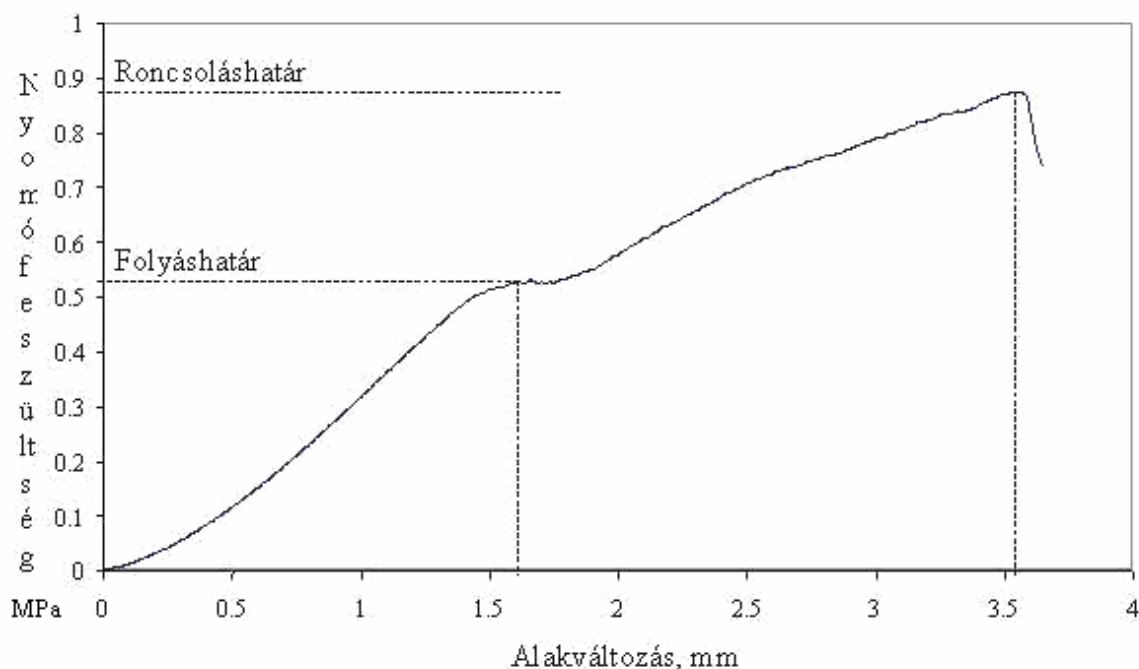
A termék állományát olyan kifejezésekkel lehet leírni, mint lágy, kemény, lédús, rágós, krémes, lisztes, ropogós stb. Nagyon lágy termék esetén a keménységet viszkozitás mérése alapján lehet leírni olyan paraméterekkel, mint a termék hújának az ellenállása valamilyen forgó próbafejjel szemben vagy inkább a forgatáshoz szükséges nyomaték mérése alapján. Ha a termék lágy, de nem túl lágy, akkor a keménységet meg lehet határozni abból a deformációból, ami egy bizonyos kompressziós erő hatására bekövetkezik az anyagban. Nagyon kemény termék esetén, mint amilyen pl. az alma, a keménység megállapítható egy kompressziós vizsgálattal, amelynek során hengeres vagy tű alakú nyomófejet nyomunk a termékbe. Nagyon kemény termékeknél azonban - mint pl. a sárgarépa, burgonya stb. - a keménységet nemcsak kompressziós eljárással mérhetjük, hanem nyírással vagy a termék vágásával is (*Fekete, 2005*).

A mezőgazdasági anyagok állománya rendkívül heterogén, ezért jelentős változások tapasztalhatók a héjtól befelé haladva a termékben. A célszerűen alkalmazható keménységmérési eljárást attól függően lehet kiválasztani, hogy a termékek melyik részén/pontján kell végezni a mérést. Ennek megfelelően a mérés célja lehet a keménység meghatározása a termék felületén, közvetlen a termék héja alatti húspan vagy a termék húzában (*Fekete, 2005*).

A termék mechanikai jellemzése

A termék keménységének a leírására különböző jellemzők használatosak. Vannak azonban ún. kedvelt jellemzők a keménység leírására, ilyen a roncsolási erő, a roncsolási nyomás, a Young-féle rugalmassági modulus (amely kifejezi, hogy a termény ideális rugalmas testnek tekinthető), a (bio)folyási erő, a keménységi index, folyáshatárhoz tartozó erő/nyomás stb. Általában az alkalmazott keménységi jellemző szoros összefüggésben van a keménységmérés módszerével (*Fekete, 2005*).

A 2.7. ábra a fent említett jellemzők közül a folyáshatárhoz tartozó nyomást és roncsolási nyomást szemlélteti a deformáció függvényében.



2.7. ábra. Precíziós penetrométerrel felvett nyomófeszültség-alakváltozás jelleggörbe

(Forrás: Fekete et al., 2001)

A nyomófeszültség-deformáció jelleggörbén több olyan jellegzetes pont van, amelynek ismeretében a termék szilárdsága jellemezhető (Komándiné, 1981). Nevezetesen:

- Folyáshatár az a terhelésérték, amit a nyomófeszültség-deformáció görbe hajlásában bekövetkezett töréspont vagy irányváltozás jellemez. Itt változatlan erőhatás mellett kismértékű átmeneti deformációnövekedés észlelhető. E határérték a sejtroppanás kezdetét jelzi. Ha a terhelés e határt nem éri el, a termék visszanyeri eredeti alakját, azaz csak rugalmas deformációt szenved és nem sérül meg.
- Roncsoláshatár a folyáshatáron túl jelenik meg a nyomófeszültség-deformáció jelleggörbén, és ezt a görbe hirtelen, határozott visszaesése mutatja. A roncsoláshatárnál a terményhéj és a -hús vagy bereped vagy teljesen átszakad.

A folyáshatárnál az igénybevétel szemmel egyáltalán nem, vagy csak alig látható sérülés, mely a tárolás során a termék részleges romlásához vezethet. A roncsolási határnál a termék sérülése közvetlenül is jól érzékelhető (repedés, átszakadás).

A folyáshatár tehát a mikrostruktúra, míg a roncsoláshatár a makrostruktúra változását jelzi (Komándiné, 1981).

A fizikai jellemzők mérés technikája

A szilárdsági vizsgálatok célja a termékek szilárdsági és alakváltozási jellemzőinek megállapítása. Ezen adatok megmutatják, mekkora igénybevételt visel el a termék anélkül, hogy megsérülne, vagy alakváltozást szenvedne. Megkülönböztetünk kvázistatikus, tartós, változó terhelésű és dinamikus vizsgálatokat a terhelő hatásnak megfelelően (Komándiné, 1981).

Az állomány meghatározására, mérésére - a jelenleg is folyamatos fejlesztőmunka mellett - több roncsolásos és roncsolásmentes módszert is kidolgoztak. A termék keménysége, állománya közvetlen és közvetett módon mérhető. A közvetlen módszer esetében a keménységgel szoros és közvetlen összefüggésben álló fizikai jellemzőt (pl. nyomó-, nyírófeszültség) mérik. A közvetett módszer esetében a terméket érő valamely külső behatás (pl. vibráció, hanghatás) eredményeként fellépő reakciót mérik (Borsa et al., 2002).

Istella (2008) megállapította, hogy a keménységmérő műszerek nagy részét általánosan az élelmiszeripari használatra fejlesztették ki, de néhány közülük a kertészeti termékek vizsgálatára is kiválóan alkalmas. Mindezt alátámasztja Fekete és Felföldi (1994), illetve Fenyvesi (2004) gyümölcs- és zöldségfélékkel végzett állományvizsgálatai.

Száritott termékek szilárdsági vizsgálata

Száritott kertészeti termékek keménységméréséről magyar vonatkozásban nem találunk szakirodalmat. Ezért a következőkben külföldi kutatók vizsgálatait ismertetném.

Theplib et al. (2008) konvektív és hőpumpás szárítási eljárással vízelvont szárocáminták keménységét vizsgálták PT 011 típusú gyümölcskeménység-mérővel, mely a nyomófeszültség-mérés módszerét valósította meg. A mérések során megállapították, hogy a 60 °C-on szárított szárocáminták keményebbnek bizonyultak a 40 °C-on dehidrált mintáknál.

Sutar et al. (2008) mikrohullámú vákuumszáritással és ozmózis szárítási eljárással kezelt sárgarépa-szeletek felületi ellenállását vizsgálták TA-XT2i típusú asztali élelmiszer penetrométerrel, mely roncsolásmentes állományvizsgálatokra alkalmas célműszer. Kimutatták, hogy a mikrohullámú vákuumszáritással vízelvont anyagok kisebb ellenállással rendelkeznek, mint az ozmózis mikrohullámú vákuumszáritással dehidrált anyagok.

Az új roncsolásmentes illetve kevésbé roncsoló módszerek nagy jövő előtt állnak a kertészeti termékek vizsgálatánál, az eddigi kísérletek azt bizonyítják, hogy jó biztonsággal lennének használhatók.

2.3.3. A duzzadás, visszanedvesedés

Szabó et al. (1974) szerint a szárítási eljárások értékelésében leggyakrabban a visszanedvesedés mértéke a mérvadó.

Az élelmiszerek rehidrációja egy komplex folyamat, mely megcélozza helyreállítani a nyersanyag tulajdonságait azáltal, hogy a szárított anyagot folyékony közegbe mártjuk. A szárított termék visszanedvesedésekor három egyidejű folyamat játszódik le: szárított anyag vizet szív magába, a rehidratált anyag duzzad, és nedvességet ad le a környezetnek (*Krokida és Marinos-Kouris, 2002*).

A kertészeti termékek szárításakor a struktúrájukban és kémiai összetevőikben változások mennek végbe, amelyek befolyásolják a visszanedvesedés folyamatát. A rehidráció fogalmát egyébként a következőképpen lehetne megfogalmazni: a szárítás során elvesztett víztartalom visszapótlása és az eredeti fizikai tulajdonságok (alak, szín, íz, illat, konzisztencia) visszanyerését irányító folyamat (*Hsu et al., 1983; Krokida és Marinos-Kouris, 2002*)

A rehidráció mértéke és időtartama a gazdaságos és gyors felhasználhatóság alapfeltétele.

A duzzadóképeség vagy rehidrációs ráta (RR) mértéke mutatja, hogy a szárított termék tömegét hányszorosára képes növelni az újra felvett víz mennyiségével. A rehidrációs ráta számítása a következő képlet alkalmazásával történik:

$$RR = \frac{m_{rh}}{m_{sz}} \quad (2.11)$$

ahol: RR a rehidrációs ráta [-], m_{rh} a rehidratált minta tömege [g], m_{sz} a szárított minta tömege (a rehidratálás előtti állapot) [g].

Ez a mennyiség az alapja a felhasználási kalkulációnak, a megehető tömeg, a fogyasztható adag, amelyhez az egyéb összetevőket, a fűszerezést számítani lehet (*Marques és Freire, 2006*).

A rehidrációs idő a gyakorlati felhasználás szempontjából szintén lényeges, mert a szárított termék fogyasztásra alkalmas elkészítési idejének optimális rövidítése a cél. Így a fogyasztó számára a vízfelvevő képesség mértékét gyakorlatilag az a tömeggyarapodás mutatja, amelyet a termék a megadott elkészítési utasításban előírt, áztatási és főzési idők alatt elérni képes.

Ugyanezen idő alatt kell a visszaduzzasztott termék konzisztenciájának is elérnie a fogyasztásra alkalmas állapotot, vagyis se kemény, se túlfőtt ne legyen.

Így a vízfelvevő képesség vizsgálata a gyakorlatban sokszor egybeesik a főzési próbával, amely a megfelelő konzisztencia eléréséhez előírt főzési idő ellenőrzésére szolgál. Ennek meghatározása nyersanyagtól, annak méretétől függően változik (*Burits, 1974*).

Összegezve *Burits (1974)* szerint a szárított termékek rehidrációjának mértéke és ideje függ a nyersáru tulajdonságaitól, annak tárolási körülményeitől, a feldolgozás folyamán pedig a helyesen vezetett szárítási módtól.

A duzzadókéesség mérési módszere

A vízfelvevő képesség vizsgálatát a vonatkozó szabványok előírásai tartalmazzák. Eltérés mutatkozik viszont a nedvesítő közeg anyagában, a közeg hőmérsékletében, a bémért anyag mennyiségében, és a duzzadásra adott időben.

Krokida és Marinos-Kouris (2002) szárított gyümölcsök (alma, banán) és zöldségek (zöldborsó, kukorica, sárgarépa, sütőtök, hagyma, gomba, burgonya, fokhagyma, paradicsom, paprika) vízfelvevő képességi mutatóját határozta meg. A mintákat 40, 60 és 80 °C-os vízbe helyezték, melynek hőmérsékletét folyamatosan szinten tartották. A rehidrált minták nedvesítése 180 percig tartott.

Tello-Panduro et al. (2006) 10 g-os dehidrált tilápia haldarabok rehidrációját vizsgálta 30 °C-os desztillált vízben 8 órán keresztül.

Walde (2006) 100 g-os kiszerelésben szárított atlanti tőkehal filét áztatott 5 °C-os hideg vízben 48 órán keresztül.

Zielinska és Markowski (2008) 10 g-os szárított sárgarépa kockák visszanedvesedését végezte meleg desztillált vízben, két lépésben, először 95 °C-os közegben 10 percig, a második lépésben 60 °C-on 50 percig.

Shafiq Alam és Singh (2008) szárított köröntő (*Phyllanthus*) gyümölcsseletek duzzadásképeségét vizsgálta. A nedvesítő közeg 95 °C-os víz volt, amiből a mintákat különböző időtartam – 5, 10, 15, 20, 25, 30 perc – után kivették, és a tömegüket lemérték.

Visszanedvesedési vizsgálatok eredményeiről

Magyarországon csak a Szegedi Tudományegyetemen folytattak olyan kísérleteket – kéméletes szárítási eljárás kidolgozása végett –, amelynek eredményeként előnyös tulajdonságokkal rendelkező (gyorsan visszanedvesedő) gombaszárítmányt kaptak (*Szabó et al, 2001*).

2.3.4. Zöldség- és gyümölcsfélék szöveti szerkezete

A növényi sejtek jellemző sajátossága a sejthártya és a sejtnedv, amelyek a protoplazmában lévő üregekben foglalnak helyet. A növényi sejtek felépítése igen nagy eltéréseket mutat a növényi szervezetben betöltött szerepüktől, a növény fejlettségétől stb. függően. A növényi sejt felépítése a 2.8. ábrán látható.

A sejtnedv különböző anyagok vizes oldatának tekinthető. A hidrofíl szerves anyagok következtében a sejtnedv térfogata növekszik és a vakuolákban belső nyomás alakul ki, amely hat a sejtfalakra és a protoplazma belső rétegére. Ezzel a nyomással tart egyensúlyt rugalmassága következtében a sejthártya (turgor).

A sejthártya a citoplazmával együtt féligáteresztő rendszert alkot. A sejtet körülvevő nagyobb só- vagy cukorkoncentrációjú oldatból az oldott anyagok nem tudnak bejutni a sejtbe, ugyanakkor a sejtnedv víztartalma ki tud lépni a környező közegbe. Ez utóbbi esetben a vakuolák térfogata csökken, a citoplazma elválk a sejtfaltól, a sejt plazmolízise következik be (*Almási, 1977*).

Az ellenkező folyamatnál, amikor a környezetből víz jut be a plazmolízist szenvedett sejtbe, helyreáll a sejt eredeti szerkezete (plazmoptízis). A növényekben a külső ozmotikus és a belső turgornyomás viszonya állandóan változik, ami tükröződik a sejtek kémiai összetételében és a víztartalmában. A fiatal szövetek viszonylag nagy mennyiségű vizet tartalmaznak, rugalmasak és kicsi a turgornyomásuk.

Szerkezeti felépítésük és fiziológiai rendeltetésük alapján a sejtek különböző szövet-szerkezeteket alkotnak (kutikula, epidermisz, terméshús stb. –sejtek, illetve -szövetek) (*Almási, 1977*).

ra a levegő kitágul, és egy része a vágásfelületeken eltávozik. A megsérült sejtekből a sejtnedv kiáramlik, és kitölti a korábban levegőt tartalmazott tereket. A feldolgozást követően a járatokban lévő nedvesség könnyebben eltávozik, és ezáltal a termék könnyen kiszáradhat. Ekkor azonban az üregekbe a levegő már nem hatol vissza.

A szárítás hatására bekövetkező zöldségek és gyümölcsök szöveti elváltozásával sokan foglalkoztak.

Lengyel (1997b) kimutatta, hogy a szilva szárításakor bekövetkező sejtelhalásra a szárítóközeg hőmérséklete közvetlen hatással van. A közeg hőmérsékletének emelésével drasztikusan csökken a sejtek száma. Emellett *Lengyel et al. (2000)* bebizonyították alma dehidrációja esetében elektromikroszkópos felvételekkel, ha nem elég szilárd a vázszerkezet, akkor törés vagy a sejtfalak deformációja jön létre. A kezdeti gyors vízelvonás hatására nagymértékű zsugorodás jön létre, s ezáltal egy kemény, merev vázszerkezet alakul ki. Szerintük a darabos zöldség- és gyümölcsfélék esetén ez alakdeformációval is jár, ami csökkenti a szárítmányok esztétikai értékét, és a visszamedvesítési mutatóit.

Raghavan és Orsat (2006) hasonló következtetésre jutott a szárítás következtében fellépő mikrostrukturális károsodási folyamatokat illetően. Biológiai anyagok alacsony hőmérsékletű (40, 50, és 60 °C) konvektív szárításával foglalkoztak. Megállapították, hogy az alacsony szárítóközeg hőmérsékletének hatására enyhe kimenetelű sejtfaltörés és sejttöszeomlás jellemezte a szövetek állapotát, – továbbá a méréseikből kiderül – melyeknek jelentős részük a rehidráció után helyreállt.

Tsuruta és Hayashi (2006) izomszövet alaktani változását figyelték meg konvektív vízelvonás hatására. A szárítóközeg hőmérséklete 40 °C-os volt, az alkalmazott légsebesség pedig 3,6 m/s. Megállapították, hogy az anyag felületi hőmérsékletének emelkedésével a sejtek zsugorodni kezdtek, melyek a meggátolták – a zsugorodás kiteljesedésével –, hogy a nedvességtartalom távozzon a sejtekből.

Végül *Kerdpi boon és Devahastin (2006)* eredményeit ismertetném. Konvektív szárítási eljárással dehidrált sárgarépakockák szövetszerkezeti változásait vizsgálták. A szárítólevegő hőmérséklete 60 °C-os, a sebessége 0,5 m/s volt. A mintákat kivették a szárítóberendezésből 150 és 300 perc elteltével, és azt vették észre, hogy a szárítási folyamat felénél (150 percnél) a nedvesség gradiens értéke megnövekedett és ez előidézte a sejtekben a belső feszültséget és a sejtek zsugorodását. A szárítási folyamat végén sejttöszeomlást regisztráltak.

2.4. Hazai fagyasztva szárítási kísérletek eredményeinek összegzése

Péter (1998) kilenc élelmiszeripari jelentőséggel bíró mikroorganizmus faj 1-1- törzsének fagyasztva szárítást követő túlélésére gyakorolt hatását vizsgálta.

Teleki (2001) és Teleki et al. (2001) kávéoldatok, tej, gombaszeletek, almaszeletek fagyasztva szárításával kísérleteztek. A szárítás alatt lejátszódó folyamatok modellezéséhez, a transzporttényezők meghatározására egy adatgyűjtő rendszert szereltek be a vákuum szárítótérbe, ezáltal a száradó anyag tömegcsökkenését és réteghőmérséklet-változását is le tudták olvasni.

Megyeri (2003) sárgarépa hagyományos és vákuum-fagyasztva szárítását végezte el. Megállapította, hogy a liofilezett szárítmány, mind mennyiségi (a termék nem zsugorodott), mind minőségi – beltartalom, íz, szín, aroma – vonatkozásban felülmúlta a napon és meglevevegővel szárított mintákat.

Gulyás (2003; 2004a; 2004b) magas illóolaj-tartalmú gyógynövények (citromfű, majoránna, orvosi zsálya, fodormenta) szárításával foglalkozott. Beltartalmi vizsgálatokkal kimutatta, hogy az illóolaj-tartalom megőrzése a vízelvonásos technológiák közül a liofilezéssel sikerült a legjobban.

Erdélyi (2005) biokatalizátorok tárolhatóságával és sejtmassza enzimaktivitásával foglalkozott. Doktori munkájában megállapította, hogy a liofilizálás megfelelő módszer a biokatalizátorként használt élesztősejtek tárolási idejének megnövelésére, valamint szállítható állapotba hozására. Ezek mellett kimutatta, hogy a liofilizált sejtek enzimaktivitása jelentősen nem csökkent, néhány esetben pedig nagyobb értéket kapott, mint a friss sejtek alkalmazásakor.

Orsovai (2007) kísérletekkel azt vizsgálta, hogy az időszakosan rosszul tisztító eleven iszap működése javítható-e liofilizált baktériumkultúra alkalmazásával. Statikus és dinamikus körülmények között mérte a liofilizált kultúra bontási képességeit két paraméter, a fenol-index és rodanidion koncentrációjának változása alapján. A kísérletek során megállapította, hogy a kiválasztott baktériumkultúra megfelelően bontja a fent említett vegyületeket.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

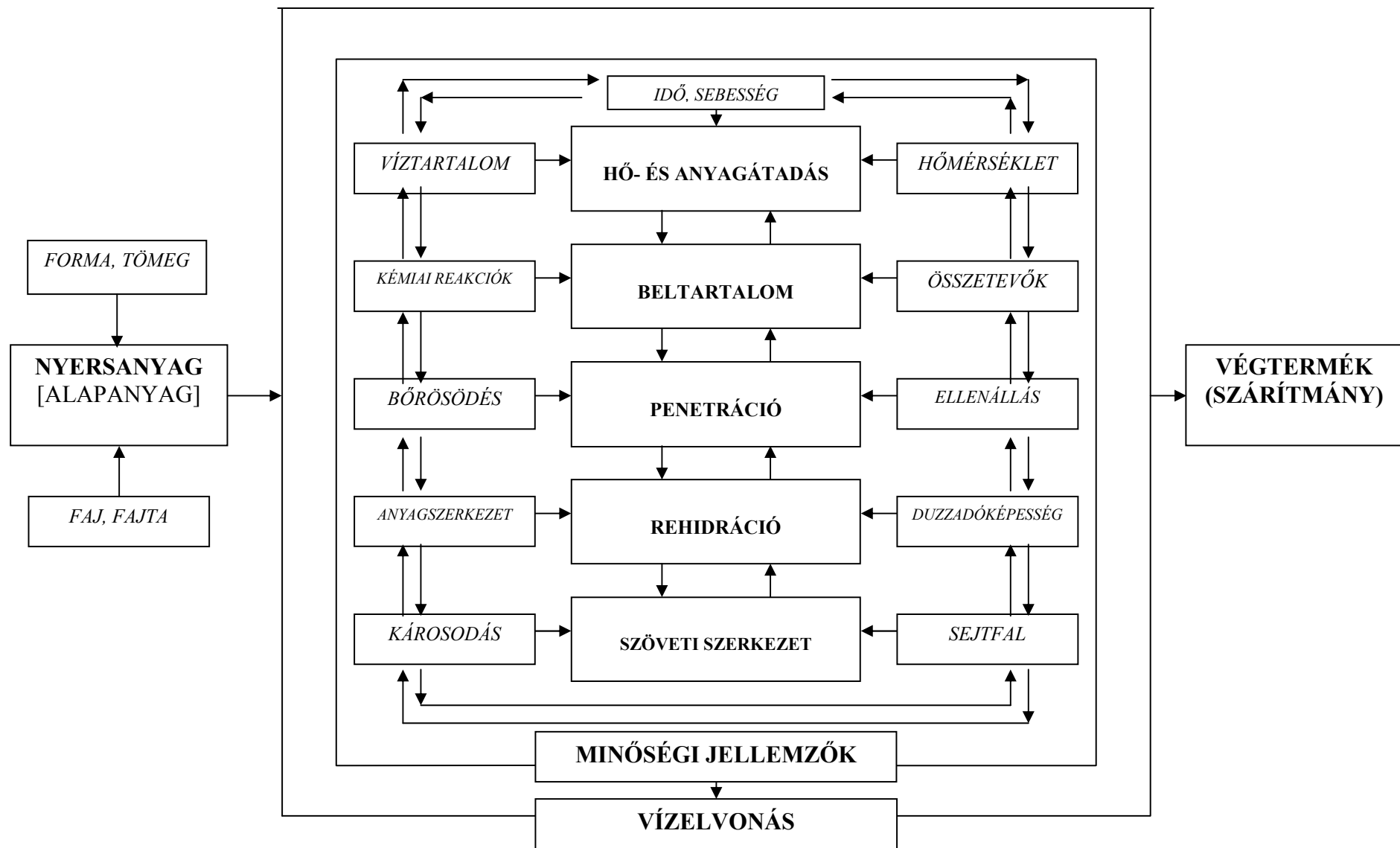
3.1. A kísérleti modell bemutatása

A következő oldalakon látható modell áttekinthető, átfogó képet alkot mindazokról a vizsgálatokról, amelyeket a doktori munkám során elvégeztem, illetve bemutatja azok jelentőségét.

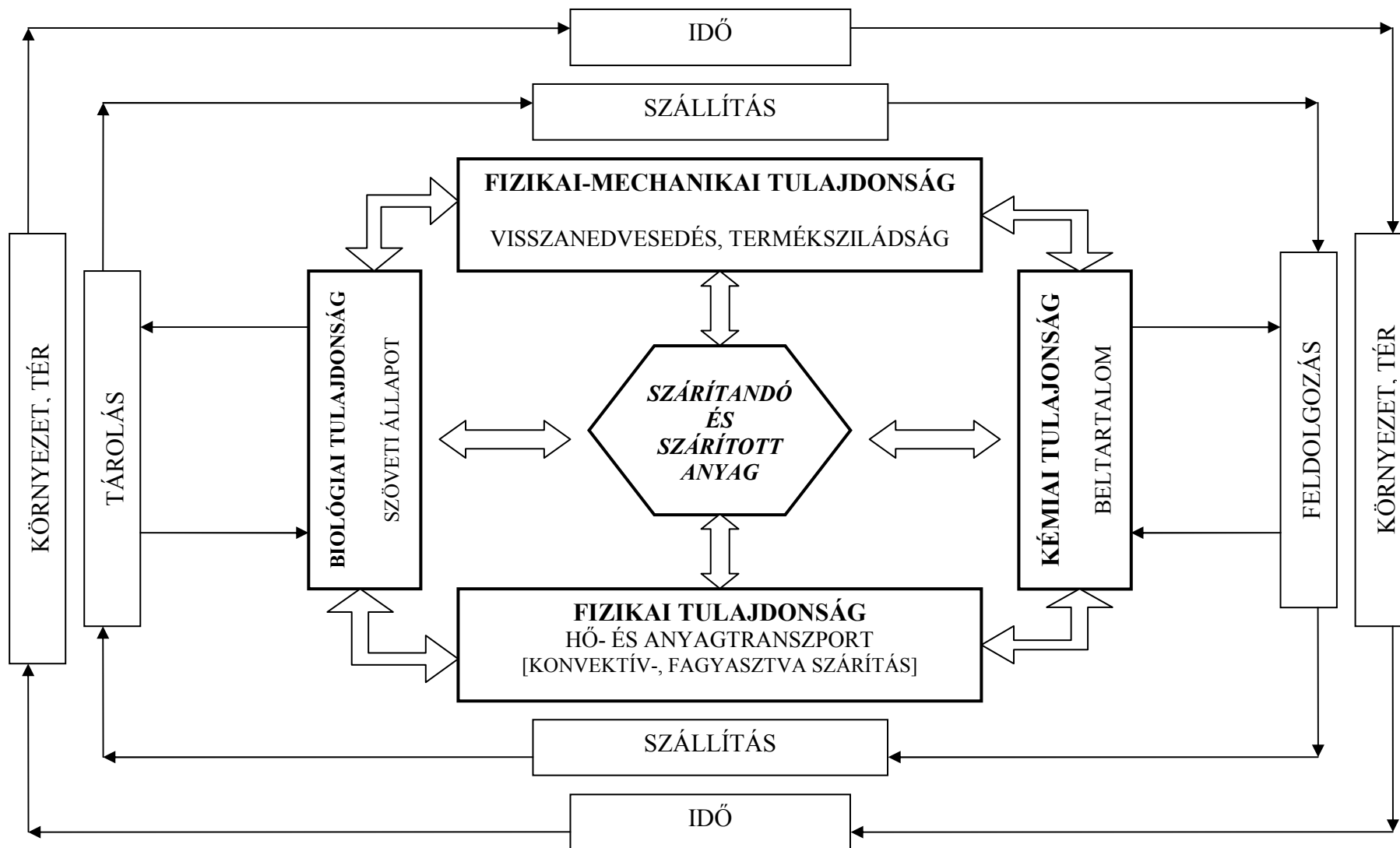
A 3.1. ábra ismerteti azokat a jellemzőket, melyek meghatározzák egy szárítmány minőségét (az ábra közepén félkövérrel szedett). Ezen tulajdonságok figyelembe vétele nélkül nem beszélhetnénk értékmegőrző, kiváló minőségű termékekről. Az alapanyag-nak tehát egy olyan kezelésen – jelen esetben vízelvonó folyamaton – kell keresztül mennie, mely ellenőrizhető, mérhető, befolyásolható, annak érdekében, hogy a lehető legjobban megőrizzük az eredeti állapotokat. Ezért számolnunk kell olyan paraméterekkel is, amelyek hatással vannak a minőséget befolyásoló tényezőkre, pl. a szárító levegő hőmérséklete és sebessége, a nyersanyag nedvességtartalma, a szárítási idő, a beltartalmi összetevők mennyisége, a kémiai reakciók, a szárítmányban kialakuló belső ellenállás, a felületen keletkező kemény-bőrös réteg, az anyagszerkezet felépítése, és annak vízzel telíthetősége, a sejttartalom károsodása, a sejtfal állapota.

Kétséget kizáróan azt is nyugodtan kijelenthetjük, hogy a felsorolt öt jellemző szoros kapcsolatban van egymással. Ezt egy egyszerű – ma már jól ismert – példán keresztül lehetne alátámasztani: ha rossz szárítási technológiát választunk meg, akkor a szárítóközeg hőmérsékletét és sebességét a szárítandó anyag biológiai optimumát túl lépve adjuk meg, ilyen esetben a következmény a beltartalmi érték degradálódása, felületi szilárdság növekedése, gyenge duzzadóképeség, sejtfalak tönkremenetele lesz. Az eredmény pedig gyenge minőségű szárítmány.

A szárítmány minőségén túlmenően azzal is foglalkozni kell, hogy az alkalmazott szárítási módszerek milyen hatással lesznek a szárítmány további feldolgozására, tárolására (3.2. ábra). Tágabb értelemben arra is kíváncsiak vagyunk, hogy a termékre milyen hatással lesz a környezet, tér és az idő. Ezért az alábbi kérdések megfogalmazása szükséges: Vajon meddig tárolható, a minőségromlást kizárva? Kell-e valamilyen 'védő' csomagolás? Igényel-e további élelmiszeripari feldolgozást? Hogyan reagál az élelmiszeripari feldolgozásra? A szállítási körülményeket miként viseli? stb.



3.1. ábra. A minőséget meghatározó tulajdonságok rendszerszemléletű összefoglalása (Forrás: saját szerkesztés)

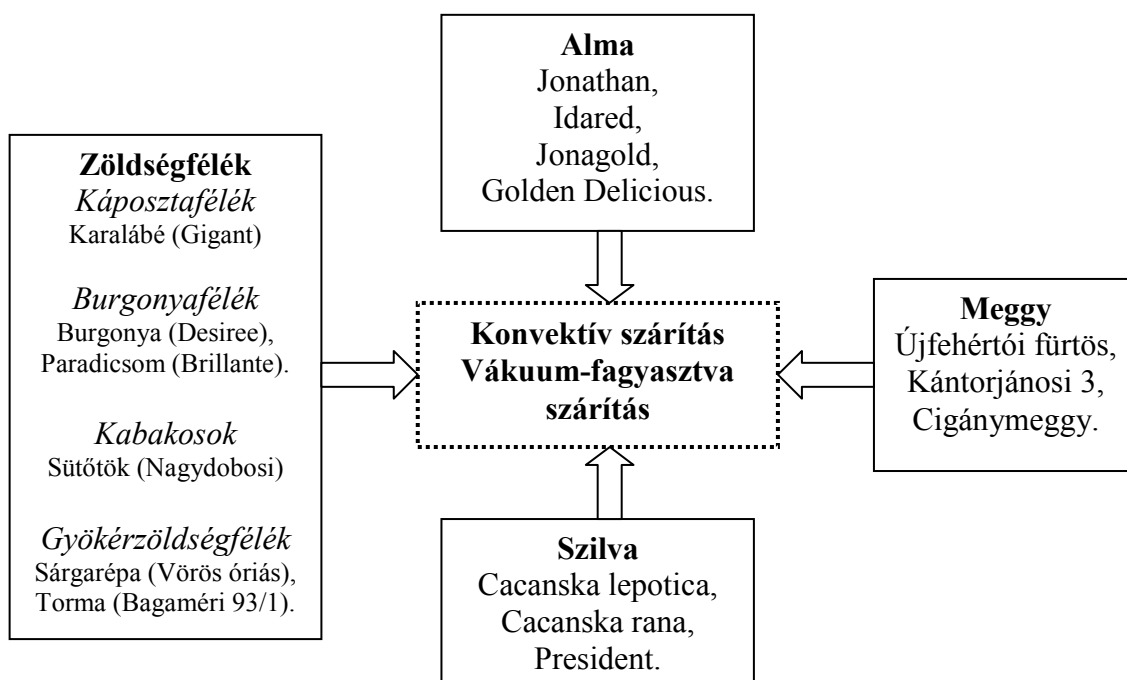


3.2. ábra. A szárítás – anyag – minőségi tulajdonságok – további kezelés kölcsönhatásainak rendszerösszefüggése (Forrás: saját szerkesztés)

3.2. A kísérletekben vizsgált anyagok jellemzése

A vizsgálatok és adat-felvételezések 2005-2009. között egymást követő öt év folyamán, a Nyíregyházi Főiskolán folytak. A mérések során pontosan ismert eredetű és minőségű gyümölcs- és zöldségféléket vizsgáltam, melyeket a helyi termelőktől és kereskedőktől (Nyíregyháza) szereztem be.

A következőkben azokat a gyümölcsöket és zöldségeket ismertetem, melyek szárítását és minőségi jellemzőinek vizsgálatát végeztem el. A kísérletekben vizsgált nyersanyagokat a 3.3. ábra foglalja össze.



3.3. ábra. Kísérleti anyagok bemutatása

(Forrás: saját szerkesztés)

3.2.1. Gyümölcsfélék

A gyümölcs termelésének az Észak-alföldi Régióban kiváló adottságai vannak, ezért kiemelkedik az országos átlagból. A régiót 100-200 méter tengerszint feletti magasság jellemzi. A fő gyümölcstermőtájon, a Nyírségben eléri a 200 métert, mely a mérsékelt égövi klímán élő gyümölcsök számára a legkedvezőbb. A legtöbb éghajlati igénynek megfelel, a napsütéses órák száma évi 1800 felett van és az évi csapadékmennyiség 500-600 mm között mozog (Harsányi, 2005).

3.2.1.1. Almatermésűek: Alma (*Malus domestica* Borkh.)

Az alma Magyarország legjelentősebb gyümölcse (*Soltész, 1997*). A legnagyobb almatermő terület az Észak-alföldi Régióban (az ország valamennyi régiója közül a legnagyobb gyümölcstermő terület) Szabolcs-Szatmár-Bereg megyében található.

Az almafa az alma (*Malus*) nemzetségbe, a rózsafélék (*Rosaceae*) családjába, ezen belül az almafélék (*Pomoideae*) alcsaládjába tartozik. Kultúrába vételének központja India és Észak-Kína. Innen terjedt szét a földünkön, a mérsékelt övben (*Tomcsányi, 1979; Pethő, 1984*).

Az almafajták jellemzése (Jonathan fajtacsoport)

A különböző ökológiai körülményekhez jól alkalmazkodó, 1800 óta vegetatív úton szaporított 'Jonathanból' mint alapfajtából rügymutáció révén pozitív és negatív tulajdonságokkal rendelkező változatok jöttek létre. A több mint 150 éve ismert fajtát kedvező piaci tulajdonságai miatt keresztezési partnerként is felhasználták, és így ma a szakemberek 'Jonathanról', mint alapfajtaról, Jonathan klónokról (külföldi és hazai) és Jonathan hibridekről beszélnek (*Nyéki és Pethő, 1984*).

Hazai Jonathan klónok. A 20. század végére a legnagyobb 'Jonathan' faállomány hazánkban van, ezért a rügymutációk előfordulási valószínűsége is nagy.

Intenzív színeződésű, kedvezőbb terméshozamú, eltérő időben érő, lisztharmatfertőzésre kevésbé fogékony és jól tárolható Jonathan klónok kiválasztása volt a cél.

'Naményi Jonathan' (Gyümölcse az 1. mellékletben látható.). A vásárosnaményi Vörös Csillag Mgtsz idős almaültetvényében találta Kiss István. A termelőszövetkezetben végzett megfigyelés alapján az Országos Mezőgazdasági Fajtakísérleti Intézet szaporítását engedélyezte (*Nyéki és Pethő, 1984*). Államilag elismert árufajta.

A fa növekedési erélye a 'Jonathanéval' azonos, de hajtásai vastagabbak, levelei durvább szövetűek. Lisztharmatra mérsékeltebben érzékeny. A gyümölcs alapszíne zöld, a sötétpiros fedőszín először csíkozottan már augusztus végén megjelenik, majd fokozatosan összefüggővé válik. A fedőszín még a korona belsejében lévő árnyékolt gyümölcsökön is kialakul. Eddigi tapasztalatok szerint az alapfajta érése után 10-12 nappal szedhető, amikor a zöld alapszín sárgába kezd váltani. Jól tárolható és a 'Jonathanra' jellemző tárolási betegségekre is mérsékeltebben érzékeny (*Soltész és Szabó, 1998*).

Jonathan *hibridek*

Az 'Idared' a Jonathan×Wagener fajták hibridje (Gyümölcse az 1. mellékletben látható.). A keresztezést 1935-ben végezték (Idaho, USA), 1942-ben került a termesztésbe. Hazánkba először Porpáczy Aladár hozta be, később Tamássy I., Migend D. és Szabó T. honosította. Államilag elismert árufajta.

Szedésre érett szeptember végén - október elején, a 'Jonathan' után 8-10 nappal. Érése meggyorsul, ha szeptemberben a napi középhőmérséklet megközelíti, vagy meghaladja a 15 °C-ot. Jól szállítható, 'Jonathan'-foltosodásra nem hajlamos.

Gyümölcse közepes vagy nagy, lapított gömb alakú, finoman bordázott. Héja közepesen vastag, viaszos bevonatú, alapszíne narancssárga. A fedőszín – évjáráttól függően – változó mértékben alakul ki és csak a gyümölcs napos oldalán. Húsa fehér, lédús, savanykás ízű. Aromája és zamata közepes (*Soltész és Szabó, 1998*).

Fája gyengébb növekedésű, mint a 'Jonathané'. Korán termőre fordul és évente rendszeresen terem. Eddigi megfigyelések szerint területegységre vetítve 20-30%-kal nagyobb hozamú, mint a 'Jonathan'. Virágzása elhúzódó, ezért a Starkrimson Delicious és egyéb, középidőben virágzó almafajták jól termékenyítik.

Lisztharmatra kevésbé érzékeny, mint a 'Jonathan'. Hazánkban az utóbbi évtizedekben kezdték meg szaporítását és üzemi ültetvényekbe ültetését. Európa többi almatermesztő államában ismerik (*Nyéki és Pethő, 1984*).

'Jonagold' a Jonathan×Golden Delicious hibridje (Gyümölcse az 1. mellékletben látható.). 1943-ban végezték a keresztezéseket (Geneva, USA), 1968-ban nevezték el és került kereskedelmi forgalomba. Államilag elismert árufajta.

A 'Golden Delicious' előtt 8-10 nappal kell szedni. Fényigényes, csak jó fényviszonyok esetén (laza korona) alakul ki a gyümölcsökön fedőszín. Gyümölcse nagyon meleg őszön a napégésre hajlamos.

Túl késői szüret esetén héja nagyon zsíros (viaszos) lesz, húsa megbarnul, rosszul tárolható. Optimális szüreti ideje nagyon rövid. Hagyományos módon a legkedvezőbb esetben sem tárolható januárnál tovább, ezt követően hirtelen romlik a beltartalmi érték. Varasodásra és lisztharmatra kismértékben érzékeny. A hagyományos tárolás időtartamának további növelésével a csésze és a magház körül barnulás lép fel, és a túlzott viaszképződés miatt a héj zsíros tapintású lesz (*Soltész és Szabó, 1998*).

Gyümölcse nagy vagy nagyon nagy, rövid, csonka kúp alakú. Kiegyenlített méretű. Héja vastag, zöldessárga, éretten narancssárga, napos oldalán narancsvörös, élénkpiros.

A gyümölcsön a fedőszín későn alakul ki. Héja kevésbé parásodik. Húsa tömör, sárgás-fehér, lédús, aromás, a cukor- és savtartalom harmonikus, íze és zamata jellegzetes. Aromája erősebb, cukor- és savtartalma is több, mint a 'Golden Deliciousé', fogyasztási érettsége is tovább tart. Az árnyékban fejlődött gyümölcsök minősége gyengébb. Ipari feldolgozásra (kompót, befőtt, lé, sűrítmény) is nagyon alkalmas.

Az almafajta-választék kiegészítése és bővítése folytán Nyugat-Európában igen „divatos”. Hazánkban is perspektivikus (Nyéki és Pethő, 1984).

Golden Delicious *fajtacsoport*

'Golden Delicious' (Gyümölcse az 1. mellékletben látható.). Társnevei: Yellow Delicious, Gelber Köstlicher.

Származása bizonytalan. Egyesek szerint a 'Grimes Golden' fajta magonca. 1880 körül találta Porterben (Nyugat-Virginia, USA) A. H. Mullins. Kereskedelmi forgalomba a Stark faiskola vezette be 1914-ben. Más források szerint a Grimes Golden×Golden Rainette fajták hibridje. Az egész világon a legelterjedtebb almafajta. Hazánkba az 1930-as évek elején került, Zatykó Imre terjesztette el. Államilag elismert árufajta (Nyéki és Pethő, 1984).

Szeptember végén – október elején szedhető. Fogyasztási érettsége szeptembertől áprilisig tart. Szüret után azonnal fogyasztható, minőségét megfelelő tárolással 6 hónapig megőrzi. Tárolás utáni állékonysága jó, de az erős fonnyadás miatt gyorsan romlik a külleme. Ipari felhasználásra – különösen püré – is kiváló (Soltész és Szabó, 1998).

Gyümölcse középnagy vagy nagy, szabályos kúp, 140-180 g. Héja az érés kezdetén zöldessárga, teljes érésben aransárga. Napos oldalán rózsaszín fedőszín kialakulhat. Parásodásra, perzselődésre nagyon érzékeny. A fogyasztók körében igen keresett. Kiváló étkezési minőségű (ha jól termelik), ipari feldolgozásra (befőtt) is alkalmas. Gyümölcshúsa édes, kissé savas, illatos (Nyéki és Pethő, 1984)

Előkészítésük a vizsgálatra

A nyersanyagot megmostam, késsel lehámoztam a héját, kiszedtem a magházat, majd a megtisztított almát 10×10 és 5×5 mm élhosszú kockákra vágtam fel. A mintákat megmértem a mérlegen, ezután a laboratóriumi szárítóberendezések (szárítószekrény, fagyasztva szárító berendezés) tálcáira terítettem vékony rétegben, felkészítve a vízelvonás műveletére. Az almafajtákat elkülönítve és együtt is szárítottam.

3.2.1.2. Csonthéjasok: Meggy (*Prunus vulgaris* L.)

A meggy kezdettől fogva legfontosabb gyümölcsaink közé tartozik. A magyarság már az őshazában is ismerte. A kedvező termőhelyi adottságok és a termesztési hagyományok, továbbá a világ által elismert hazai fajták révén a gyümölcsaink között a 4-5. helyen áll, az áru gyümölcsöket tekintve pedig az alma után következik (Soltész, 1997). A meggy jó ökológiai alkalmazkodó képességgel rendelkezik, Magyarországon biztonságosan termesztethető (Szabó, 2004).

Ma a világ meggytermesztő államai közül Magyarországon található a legszélesebb a termesztésben lévő fajtaválaszték. A 16-17. századtól kezdődően kialakultak azok a körzetek, ahol tudatosan foglalkoztak a meggy termesztésével pl. Debrecen környéke, Újfehértó és környéke, Nyíregyháza és környéke, Mátészalka és környéke (Apostol, 2003). Az Észak-alföldi régió belül legnagyobb meggytermő terület Szabolcs-Szatmár-Bereg megyében helyezkedik el.

A meggy a rózsafélék (Rosaceae) családjába sorolható. Vadon termő alakjai nem ismertek, mégis a faj keletkezésének helye a Kis-Ázsiában és a Kaukázus elővidékén jelölhető ki. A sekélyen gyökerező jellege ellenére a szárazságot jobban tűri, mint a cseresznye; kultúralakjai könnyen elvadulnak nemcsak rézsűkön, erdőssztyeppi, hanem zárt erdők kislombkoronás szintjében is megjelenhet. Dél-eurázsiai, mediterrán faj, mérsékelt, talajokban nem válogatós (Surányi, 2003).

A meggyfajták jellemzése

'Újfehértói fürtös' (Gyümölcse a 2. mellékletben látható.). Meggytermesztésünk egyik fő fajtája (Mónus, 1999). Anyafaját az Újfehértó környéki termőtájban emelték ki 1961-ben tájszelekció során Pethő Ferenc és munkatársai. Államilag elismert áru fajta. Későn, július elején érik, érése elhúzódó, de hullásra nem hajalmos. A gyümölcs éretten sérülésmentesen válik a kocsánytól.

Gyümölcse középnagy vagy nagy, kissé lapított gömb alakú. Átmérője a termés mennyiségétől függően 18-23 mm. Tizenkét év átlagában a termés 54%-a 22 mm feletti átmérőjű. Tömege 5,23 g. A gyümölcshéj színe fénylő bordópiros. Húsa kemény, vérpiros, mérsékleten festő levű. Íze harmonikusan savas-édes. Cukortartalma nagyobb, mint

a Kántorjánosi 3 meggyé. A gyümölcs kemény húsú, géppel rázható és osztályozható. Friss fogyasztásra és gyorsfagyasztásra alkalmas (*Apostol, 2003*).

'Kántorjánosi 3' (Gyümölcse a 2. mellékletben látható.). Mátészalka környékén végzett tájszelekció eredménye a Kántorjánosi meggy populáció. Az Újfehértói Kutató Állomáson Szabó Tibor és munkatársai ebből a populációból 5 klónt gyűjtöttek be és állítottak fajta-összehasonlító kísérletbe. A 'Kántorjánosi 3' klónt e kísérletek értékelése után került állami elismerésre.

Június végén, július elején érik, az 'Újfehértói fürtössel' egy időben, de a termőhely és a különböző évjáratok hatására előfordul, hogy érési időben 2-3 napos különbség is mutatkozik közöttük.

Gyümölcse az 'Újfehértói fürtösénél' nagyobb, tömege 5,37 g. A gyümölcs tömege 4-5 %-kal, a 22 m feletti gyümölcsök aránya pedig 10 százalékkal magasabb. A gyümölcs alakja kissé nyomott gömb, színe bordópiros. Húsa piros, közepesen festőlevű. Az 'Újfehértói fürtösnél' keményebb, repedésre is kevésbé hajlamos. Erős meggyíze a magasabb titrálható savtartalmának köszönhető. Friss fogyasztásra, ipari feldolgozásra és gyorsfagyasztásra alkalmas (*Apostol, 2003*).

'Cigánymeggy' (Gyümölcse a 2. mellékletben látható.). Ismeretlen, valószínűleg magyar eredetű fajtakör. A Kárpát-medencében őshonos spontán kialakult magoncpopulációk és klónok együttesen alkotják. Az általános szóhasználat szerint minden fekete kis gyümölcsű és bőtermő meggyet 'Cigánymeggynek' neveznek. A köztermesztésben igen sok változata található meg, ismert elnevezései még: Aprómeggy, Fekete meggy, Szaporameggy, Parasztmeggy, Hartai meggy. A 'Cigánymeggy 7', 'Cigánymeggy 59' és 'Cigánymeggy C 404'-es klónok államilag minősített fő árufajták. A Cigánymeggyfajták június 16-25. között érnek.

Fekete festőlevű, erősen savas, apró, 14-20 mm közötti gyümölcsük miatt elsősorban légyártásra használatosak. Jó termékenyítő képességük következtében a 'Pándy' meggyültetvények fő pollenadó fajtái. Jelenleg már csak öntermékenyülő változataik szaporíthatók.

A 'Cigánymeggyek' gyümölcsmérete kicsi, 18 mm alatti. A 'Cigánymeggy 59'-es klón gyümölcse kedvező időjárás és kisebb termésberakódás esetén elérheti, sőt meg is haladhatja a 20 mm-t. A gyümölcsök alakja majdnem szabályos gömb, színük sötét bordópiros. Kocsányuk hosszú, gyakran pálhaleveles. A gyümölcsök húsa liláspiros, félkemény, lészíne sötétvörös, erősen festő. Íze erősen savas. Kőmagja kicsi, mindössze 6-

7 tömeg százalék. Szárazon válik a kocsánytól, ezért jól rázható. Gyümölcsének magas savtartalma és erősen festő leve miatt elsősorban gyümöcslékészítésre alkalmas (*Apostol, 2003*).

A vizsgált meggyfajták fontosabb jellemzőiről további adatokat a 4. mellékletben találunk.

Előkészítésük a vizsgálatra

Az alapanyagot a feldolgozás első lépéseként megmostam, ezután a szárat eltávolítottam. Kézi magozó alkalmazásával kimagvaltam a meggyet és a száradó felület megnövelése érdekében felezttem az anyagot. A szárítási folyamat azáltal vette kezdetét, hogy a mintákat a szárító tálcájára helyeztem.

A liofilizálás eredményessége érdekében a meggy mintákat lefagyasztottam kb. -10 °C-ra, mert a felezés során levet enged és a magas cukortartalma miatt a vákuum alatt felhabzik, és szétrobban az anyag. Egyszerre csak egy meggyfajtát szárítottam. A második lépésben a fajtákat egyszerre is dehidráltam.

Szilva (*Prunus domestica* L.)

Az alma- és a meggyültetvényeken kívül a szilvaültetvények is számottevőek az Észak-alföldi régió belül.

A szilva a rózsafélék (Rosaceae) családjába tartozik. Óshazája Közép-Ázsiától Fekete-tenger partvidékén, Szírián át egészen Közép-Európáig terjed. Görögországban már i. e. a 7. századtól kultúrába vették, míg Európa más éghajlatilag, számára kedvező részén a 12. századtól áll termesztés alatt (*Tanács, 2005*).

Magyarországon elsősorban a háziszilva (*Prunus domestica*) fajtákat termesztjük. Kevésbé terjedt el a ringló (*Prunus italica*) és a kökényszilva (*Prunus insititia*).

Termesztett fajtáink megoszlása származási hely és genetikai eredet szerint igen változatos. Fajtaválasztékunk tartalmaz több száz éves, ismeretlen eredetű fajtákat is. A fajtasor legintenzívebben az utóbbi harminc év során fejlődött. A hazai termesztésbe állítottuk a keresztezéses nemesítés során nyert legújabb amerikai, jugoszláv és román hibrideket (*Szabó, 1997*).

A szilvafajták jellemzése

'Cacanska leptica' (Gyümölcse a 3. mellékletben látható.). Frühzwetsche ×Pozegaca fajták keresztezésével állították elő 1961-ben, Csacsakon. Államilag elismert árufajta.

Elsősorban friss fogyasztásra alkalmas. Konzisztenciája jó, augusztus első felében érik, kedvezően tárolható, és bírja a szállítást is.

Gyümölcse közép nagy vagy nagy (31-42,2 g), tojásdad, kissé aszimmetrikus. A héj színe sötétkék, erősen hamvas, szinte egész felületét viaszos réteg fedi. Húsa zöldessárga és aransárga között változik az érettségtől függően: kellemes, édes-savas ízű (Surányi és Erdős, 1998).

'Cacanska rana' (Gyümölcse a 3. mellékletben látható.). Wangenheims Frühzwetsche ×Pozegaca keresztezésével Csacsakon állították elő 1961-ben. Állami elismerést kapott.

Elsősorban friss fogyasztásra megfelelő, igen korai érésű (július közepe), piaca nagyon jó, jól szállítható.

Gyümölcse nagy vagy igen nagy (36-48 g), tojásdad alakú. Héja sötétlila, eléggé hamvas, igen tetszetős. Húsa kemény, sárgászöld, édes és kellemes aromájú (Surányi és Erdős, 1998).

'President' (Gyümölcse a 3. mellékletben látható.). Az angliai Sawbritgeworthban Thomas Rivers a múlt században szelektálta. Állami elismerést kapott 1984-ben.

Szeptember második felében érő gyümölcsei elsősorban friss fogyasztásra alkalmasak, de aszalványnak is termesztik. A 'President' aszalvánnya nagy, homogén, tetszetős külsejű, fényes, fekete színű, íze pedig savanykás, kellemes, zamatos. Gyümölcsei jól bírják az áruvá készítést és szállítást, 2-4 hétig tárolhatók.

Gyümölcse nagy (50-60 g), megnyúlt gömbölyded alakú. Héja pirosaslila, teljes érettségben sötétlila, hamvas, tetszetős. Húsa zöldessárga, kemény, lédús, íze közepes, kissé zamatos, savanykás (Surányi és Erdős, 1998).

Előkészítésük a vizsgálatra

A nyersanyagot megmostam, késsel negyedeltem és a magot eltávolítottam. A héját nem hámoztam le. A mintákat a tömegmérés után laboratóriumi szárítóberendezések tálcáira terítettem vékony rétegben, felkészítve a vízelvonás műveletére. Külön és együtt is szárítottam a szilvafajtákat.

A gyümölcsök beltartalmi jellemzőit a 4. mellékletben foglaltam össze.

3.2.2. Zöldségfélék

Hazánkban a tapasztalatok szerint kb. 40 zöldségfaj termesztethető eredményesen. Ebből kb. 20-25 fajt termelünk nagyobb területen, míg mindössze 10-12 zöldségfaj az, amely a megtermelt termésmennyiség több mint 80%-át adja. Itt az egyes fajokhoz kapcsolódó területek 8-10 ezer hektárban mérhetők. Főbb növényeink a következők: paradicsom, paprika, uborka, vöröshagyma, gyökérezöldségfélék, zöldbab, zöldborsó, csemegekukorica, fejes káposzta, görög- és sárgadinnye. Kisebb felületen termesztjük a tök- és levélzöldségféléket (Géczi, 2003).

A termesztésben meghatározó jelentőségű az Alföld zöldségtermesztése. 2004-es adatok szerint a zöldségterület legnagyobb része, mintegy 39%-a az Észak-alföldi régióban található (Erdész és Juhász, 2004).

A zöldségféléket gyakorlati – és bizonyos esetekben botanikai értelemben is – 9 csoportba sorolhatjuk (Géczi, 2003).

3.2.2.1. Káposztafélék: Karalábé (*Brassica oleracea* convar. *golyoides* DUCH)

Termesztése évszázadokra nyúlik vissza, egyes források szerint már a rómaiak is foglalkoztak vele, s azóta egyre több utalást találunk előfordulásáról a 8-9. században. Hazánkban a 17. században kezdték termelni, s ekkor már hajtatasáról is olvashattunk.

Kétéves növény, magházat a második évben hozza. A föld felett megvastagodott szárat ún. szárgumót fogyasztjuk. Étrendünkben fontos szerepet tölt be, mert vitaminokban, továbbá rost- és ásványi anyagokban gazdag. Viszonylag könnyen hajtatható és a téli tárolása is egyszerű. Szabadföldi termesztésben pedig a téli tárolásra történő termesztés a döntő (Géczi, 2003).

A vizsgálatokba egy késői érésű, 'Gigant' karalábéfajtát vontam be. 1983-ban állami elismerést kapott. Nagytestű, fehér héjú fajta, mérete eléri a 3-5 kg-t is. Húsa nem fásodik. Gömb alakú gumóalakja van. Kiváló belső minőséggel rendelkezik.

Előkészítésük a vizsgálatra

A nyers karalábét megmostam, ezáltal eltávolítottam a rátapadt szennyeződést. A következő lépésben meghámoztam, és felszeleteltem 5×5 mm és 10×10 mm élhosszúságú kockákra. A tömeg mérése után a szárítóberendezésekbe helyeztem a mintákat.

3.2.2.2. Burgonyafélék: Burgonya (*Solanum tuberosum* L.)

A burgonya a burgonyafélék családjába a *Solanum* nemzetségébe tartozó egynyári növény. A burgonya géccentruma Mexikó, Peru, Bolívia, Chile és Chiloe-sziget. Közép- és Dél-Amerikában már régóta termesztés alatt állt. Chile meghódítása után a spanyolok hozták be a burgonyát Európába. A 16-17. században Nyugat-Európában az egyik népelelmezési cikk lett (Izsáki, 2005).

A burgonyát a gumójáért termesztik, amely egy földben megvastagodott szárképlet. A gumó megvastagodott, földalatti szárrész, amely a földalatti hajtás ízének hajtásaiból (sztolókból) fejlődött ki. A sztolók vége gumókká fejlődik. Sztolókat a földalatti szárrész addig fejleszt, míg el nem öregszik, el nem fásodik. A gumó, vagy módosult szár szöveti felépítése a következő, kívülről befele haladva: parahéj, kéreg, edénynyaláb gyűrű, bél körüli parenchima, bélszövet. Az edénynyaláb szétszóródik, benne a kambium szerepe jelentéktelen. A keményítő fő felhasználási területe a bélkörüli parenchima, amely a prokambium belső részéből alakult ki.

A burgonyában a víz után a legnagyobb mennyiségben a keményítő van, aminek fajtaátlagban az aránya 12-20% körül mozog. A vitaminok közül kimutatható a B₁-, B₂- vitamin is (Tanács, 2005).

A szárítási kísérleteket 'Desiree' (holland) burgonyafajtával végeztem el. Állami elismerést 1972-ben kapott. Középérésű fajta, gumója hosszúkás, ovális, kiegyenlített formájú. A hússzíne sárga, héja pedig rózsaszínű.

Paradicsom (*Solanum lycopersicon* L.)

A paradicsom a csucsfélék (Solanaceae) családjába tartozó egynyári lágyszárú növény. Őshazája a trópusi Közép- és Dél-Amerika (Peru, Bolívia, Mexikó). A paradicsom a 16. század vége felé került át Amerikából Európába. Hazai viszonylatban paradicsomról az első adat 1651-ből származik.

Fajtájára jellemző alakú, színű bogyótermés. A magház két, vagy több rekeszre oszlik és ezekben található kocsonyás állományban helyezkednek el a magvak. A mag szürkés drapp színű, lapított alakú (Somos, 1983).

A bogyónagyság szerint megkülönböztetünk kis, közepes és nagy termésű fajtákat. A bogyó színe szerint lehet egyszínű világoszöld, kétszínű, sárgás színű és piros különbö-

zö árnyalataira színeződött termés (*Tanács, 2005*). A paradicsom vitaminkészletének elemeit képzik az 5. mellékletben felsorolt C-vitaminon kívül az A-, H-, PP-, K-vitaminok és a pantoténsav, valamint a folsav. A paradicsom színanyagai közül legfontosabbak a különféle karotinoidok, a klorofill A és B komponensei, a pigmentek és a szintelen poliének (*Somos, 1983*).

A vizsgálatokat 'Brillante' elnevezésű paradicsomfajtaival végeztem el. Államilag elismert árufajta (1998). Közép-korai tenyészidővel rendelkező fajta. A bogyó tömege: 130-150 g, a bogyó enyhén lapított gömbölyű alakú.

Előkészítésük a vizsgálatra

A burgonya gumókat megtisztítottam a héjára rákerült tisztátalanságoktól, utána kés-sel lehámoztam a héját. Az előírás szerint 1,5×1,5 cm vastagságú kockákra vágtam, és a tömegmérés után a szárítókba helyeztem.

A paradicsom vizes öblítése után a véglevágás következett, eltávolítottam a zöld talpat, csészeleveleket, és a kocsányt. A véglevágást követően a paradicsomból 3 és 5 mm vastagra vágott korongokat képeztem. A szeleteket a tömegmérés után a konvekciós- és fagyasztva szárító tálcáira helyeztem.

3.2.2.3. Kabakosok: Sütőtök (*Cucurbita maxima* DUCH)

Hazánkban régóta, már a 12-17. századtól nagy területen termesztik. Elsősorban Szabolcsban termesztik a 'Nagydobosi' fajtát kiterjedtebb területen. Az üzemi és laboratóriumi méréseket ezzel a fajtaival hajtottam végre.

Egynyári növény. Termése kabak, mely alakban és színben változó, alakja lapított gömb. A sütőtök terméshúsa narancssárga, konzisztenciája száraz, omlós (*Géczi, 2003*).

Az 5. mellékletben feltüntetett adatokon kívül a karotin-, B₁-, és B₂-vitamin-tartalma is említést érdemel (*Dimény et al., 2004*).

Előkészítésük a vizsgálatra

A nyersanyagot megmostam, ezt követően a két véget levágtam, hosszában kettévágva kibeleztem a magot és a lágy belső részt. A darabolás által kb. 2×2 cm-es kockákat képeztem, majd a tömegmérést követően elhelyeztem a szárítóberendezésekbe a szeletelt mintákat.

3.2.2.4. Gyökérzöldségfélék: Sárgarépa (*Daucus carota* L.)

A legnagyobb területen termesztett gyökérzöldség. A sárgarépa kétéves növény, az első évben megtermelt répatest – átteleltetés és tavaszi kiültetés után – a második évben fejleszt magszárat és azon ernyős virágzatot, amely a magtermesztést szolgálja. A fajták többsége hengeres répatestet képez, amely gyakran meghaladja a 20 cm hosszúságot és a 2 cm-es átmérőt.

A beltartalmi értékei közül érdemes kiemelni még a karotintartalmát, valamint B-vitamin-tartalmát (Géczi, 2003).

A szárítási kísérleteket 'Vörös óriás' fajtával végeztem el. Tenyészideje 180-200 nap. A répatest kb. 22 cm hosszú - nagyméretű, végén keskenyedő, durva rostú.

Torma (*Armoracia lapathifolia* GILIB)

A torma zöldség- és fűszernövény is egyben. Hazánkban egy termesztési körzete van, amely Debrecen környékén alakult ki, Bagamér, Újléta, Álmosd községek határában.

Évelő növény. A földben lévő és nem bolygatott rizómák törzsrészt, illetve tavasszal magszárat fejlesztenek. Főgyökeret (rizómát) növeszt, amelyen mélyreható talp- és mellékgyökér-rendszer képződik. Gyökerén járulékos rügyek vannak, ennek alapján használhatók szaporítóanyagként.

Csípős ízét a mustárglikozidok, az allil- és butil izotionátok adják. Gazdag aminosavakban és vitaminokban (Géczi, 2003).

A kísérleteket a legelső államilag elismert tormafajtával a 'Bagaméri 93/1'-essel folytattam. A rizóma alakja egyenletesen vastagodó, hengeres.

Előkészítésük a vizsgálatra

A gyökérgumósok felületéről intenzív mosással a rátapadt szennyeződéseket eltávolítottam. A koronát vagy a vállat a fás levélnyélkövekkel együtt levágtam. Ezt követően késsel meghámoztam a gyökeret. Majd szeleteket vágtam, ezek vastagsága 5 mm-es volt. A feldolgozás után lemértem a tömeget és a szárítóberendezésekbe raktam a nyersanyagot.

A gyümölcsök és zöldségek konvektív szárítását Burits (1992), illetve Hajdú és Jakovác (2004) által ajánlott szárítási technológia betartásával végeztem el.

A zöldségfélék beltartalmi jellemzőit az 5. mellékletben foglaltam össze.

3.3. A kísérletekben alkalmazott szárítóberendezések ismertetése

A kísérletekben felhasznált kertészeti termékek vízelvonását az alábbi szárítóberendezésekkel végeztem el:

1. Konvektív szárítás - LP 302 laboratóriumi hengeres szárítószekrény.
2. Liofilizálás - Armfield FT33 laboratóriumi vákuum-fagyasztva szárító,
- üzemi szublimációs szárítóberendezés.

3.3.1. LP 302 laboratóriumi hengeres szárítószekrény

A gyümölcs- és zöldségfélék konvektív szárítását a Nyíregyházi Főiskola, Műszaki és Mezőgazdasági Kara, Jármű- és Mezőgazdasági Géptani Tanszék laboratóriumában található hengeres szárítószekrényben hajtottam végre.

A szárítóberendezés felépítését a 3.4. ábrán kísérhetjük figyelemmel.



3.4. ábra. LP 302 hengeres szárítóberendezés

(Forrás: saját felvétel)

A berendezés kis mennyiségű anyagok szárítására alkalmas, mivel 60 literes belső térfogattal rendelkezik. A szárítandó anyagot perforált tálcákra helyezhetjük el az alumínium belső térben. A meleg levegő előállítása – maximálisan 200 °C – a szárító alján elhelyezett elektromos fűtéssel biztosítható. A felvett teljesítmény elérheti a max. 1 kW-ot

is. A fűtés termosztáttal szabályozható, $\pm 0,3$ °C hőfokszabályozással. A levegőkeringtetést ventilátor végzi, a légsebesség szabályozása a szárítóberendezés tetején található szűkítővel oldható meg.

A pontos légsebesség-, levegő páratartalom- és léghőmérséklet-mérése a szárítóberendezés tetején található mérőcsonkon keresztül lehetséges. A szárítóközeg hőtechnikai paramétereinek mérését hivatalosan kalibrált TESTO 4510 típusú mérőkészülékkel végeztem el.

3.3.2. Armfield FT33 laboratóriumi vákuum-fagyasztva szárító

Ez a készülék is a Jármű- és Mezőgazdasági Géptani Tanszék laboratóriumában került elhelyezésre.

Az Armfield fagyasztva szárító egy kompakt egység, mely két kamrával rendelkezik. A kamrák belseje korrózióálló rozsdamentes acélból készült, és könnyen sterilizálható. Az egyik kamra 300 mm átmérőjű, és 370 mm mély, ezt a munkakamrának nevezzük, itt kerül elhelyezésre a szárítandó nyersanyag. A kamrának átlátszó akril fedele van, hogy a munkafolyamatot meg lehessen figyelni. Ez a kamra 4 mobil hőszondával is rendelkezik, melyek alkalmasak az anyag hőmérséklet-változásának regisztrálására.

A szárítókamra közvetlen közelében egy 200 mm átmérőjű, és 150 mm mélységű kondenzátor kamra található, ahová a szublimációval elvont nedvesség kerül lefagyasztásra. A szárítási folyamat végén a fagyott rész leolvasztás után eltávolítható az ürítő szelepen keresztül.

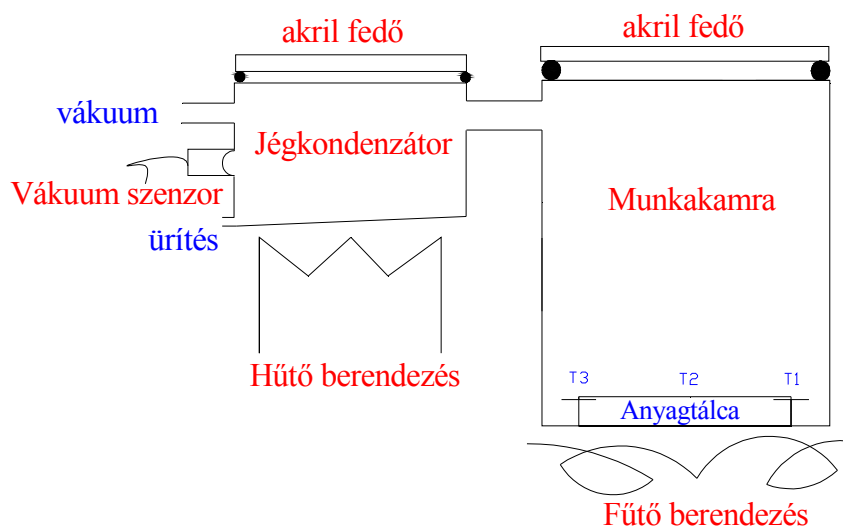
A két kamra beépített kompresszoros hűtőrendszert, és egy hőmérséklet-szabályozós fűtőrendszert (elektromos fűtőszalag) is tartalmaz.

A nedvességelvonás kétfokozatú forgódugattyús vákuumszivattyú segítségével történik, mely olajköd szűrővel ellátott, így a folyamat teljesen környezetbarát. A szivattyú és a kamrák összekötése egy speciális csővel történik, amihez kapcsolódik a vákuumérzékelő.

A teljes rendszer szabályozása membránpanel érintésérzékeny kapcsolókkal történik és lehetővé teszi a hűtés, a vákuumpumpa, a fűtés és a felengedés vezérlését. A szárítási paraméterek változása – a szárítandó anyag hőmérséklete, a munkakamra hőmérséklete, a kondenzátor kamra hőmérséklete, vákuumszivattyú nyomása – folyadékkristály kijelzőn nyomon követhető.

Mindemellett egy termosztatikus expanziós szelep automatikusan szabályozza a kívánsági fokot, így a nagy mennyiségű gőzt is lehet kezelni. Az egység el van látva mágneses kikapcsoló szelepekkel, elektromos túltöltő, és túlfűtő védelmi rendszerekkel is.

A szárítóberendezést elsősorban biológiailag hőérzékeny anyagok dehidráálására tervezték, amelyeket poharakban vagy egyéb edényekben tárolnak. Tulajdonképpen élelmiszeripari berendezések kis másolatának felel meg. Az ismertetett készülék elvi vázlatát a 3.5. ábra szemlélteti.



3.5. ábra. Az Armfield FT33 liofilizáló készülék sematikus ábrája

(Forrás: saját szerkesztés)

A laboratóriumi fagyasztva szárító négy alapvető egységből épül fel, ezek az alábbiak: szárítókamra (munkakamra), jégkondenzátor, hűtő berendezés, fűtő berendezés és vákuumszivattyú.

További technikai paraméterek (Armfield, 2002):

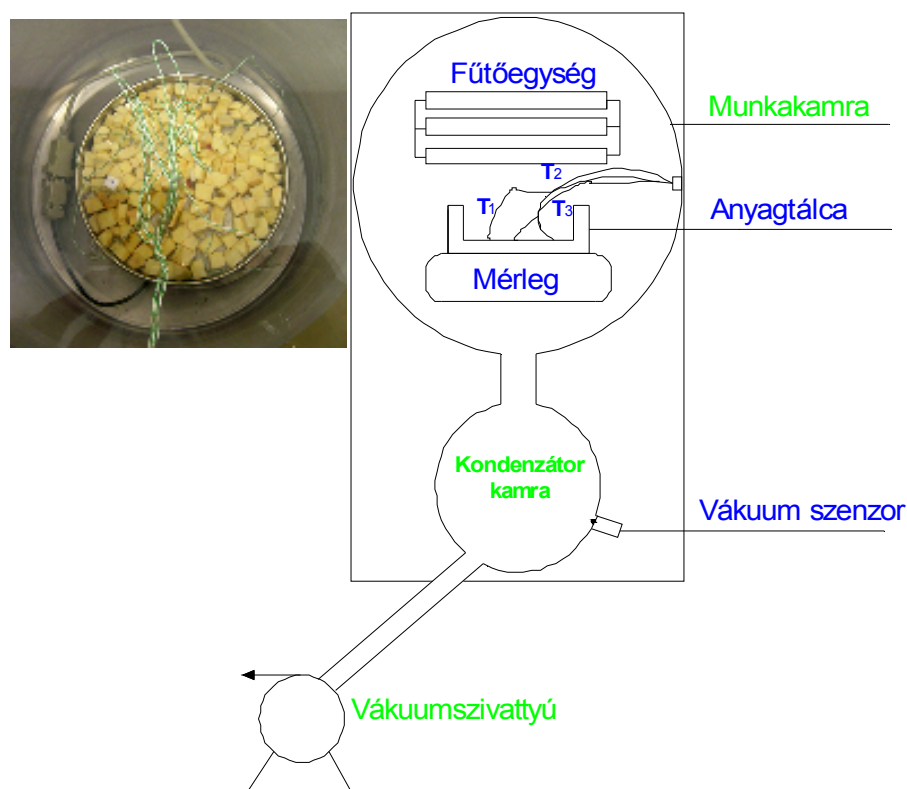
- Kondenzátor kamra jégkapacitása: 4 kg.
- Üresjáratú hőmérséklet: -55 °C.
- Munkakamra hűtőközege: R507.
- Fűtés névleges teljesítménye: 300W.
- Elektromos áram: 220-240V/1ph/50Hz.
- Vákuumszivattyú szállítási teljesítménye: 120 l/min.
- A komplett berendezés tömege: 170 kg.

Adatgyűjtő rendszer kialakítása a laboratóriumi fagyasztva szárítóhoz

A szárítás alatt lejátszódó folyamatok pontos elemzéséhez a laboratóriumi fagyasztva szárító berendezést elláttuk egy adatgyűjtő rendszerrel. Ennek az okai a következők voltak:

- A szárítás során lejátszódó anyag-transzport folyamatok kutatásához elengedhetetlenül fontos a szárítandó anyag tömegcsökkenésének folyamatos regisztrálása. A nedvességváltozást pedig a tömegmérésből számítottam ki.
- A szárításhoz szükséges hőmennyiség meghatározásához ismerni kell a szárított anyagból eltávozó vízmennyiséget.

A szárítandó anyag tömegének méréséhez a vákuum alatt lévő henger alakú szárítókamra aljára vastag fémlap közé szereltük az EMALOG Kft. által gyártott PAB-01 típusú mérleg-cellát. Az adatkábel kivezetését pedig a kamra tetejét lezáró akril fedélen keresztül oldottuk meg. Nyomásnövekedést nem tapasztaltunk a munkakamrában, mert leszigeteltük a kábel kivezetésének helyét (3.6. ábra).



3.6. ábra. Tömegmérő műszer elhelyezkedése a szárítókamrában

(Forrás: saját szerkesztés)

A platformcella egyébként megfelelő pontossággal mér a munkakamra szélsőséges hőmérsékleti értékeihez igazodva, hiszen a működési hőmérséklet-tartománya mínusz 45 - $+80$ °C között mozog. Az általunk használt EMALOG PAB-01 mérleg-cella technikai adatainak ismertetését a 6. mellékletben foglaltam össze.

A tömegváltozás a külső térben elhelyezett ES-138 típusú mérlegműszerről olvasható le, mely a platformcellától kapja az analóg jeleket. Ez egy olyan jelfeldolgozó egység, ami a nyúlásmérő bélyeges mérleg-cellákhoz csatlakoztatható. A mérleg-cella jelét felerősíti és digitalizálja, minden feldolgozási lépés egy mikroprocesszorban digitálisan történik. Ez a megoldás méréstechnikailag eredményes volt, ugyanis sikerült úgy kalibrálnunk és beállítanunk a műszer elektronikát, hogy a zavaró hatások ne befolyásolják a mérés pontosságát. A szárítás művelete alatt ugyanis egyszerre két rázkódást okozó berendezés van működésben: a hűtőrendszer és a vákuumszivattyú, amelyek együtt zavaróan hatnak a tömegmérésre.

A mérlegműszert RS232 illesztőn keresztül kapcsolatba hoztuk a számítógépre telepített adatgyűjtő szoftverrel (DATPump), ami a mérés értékeinek megjelenítésére és konfigurálására alkalmas. A mérlegműszer valamennyi funkciója több módon állítható: a kezelőoldal billentyűzetével, illetve a számítógépi programból. Ezáltal a számítógépre csatolva a program a beállításokat is megadja és lekérdezi az adatokat. Egy menüben lehet beállítani a mintavétel intervallumát, az adatgyűjtés indítását-leállítását, a jegyzőkönyv alakját és a nyomtatási beállításokat. A 6. melléklet összefoglalja az ES-138 típusú mérlegműszer fontosabb műszaki adatait.

A 3.7. ábrán látható a tömegmérő rendszerrel felszerelt laboratóriumi vákuum-fagyasztva szárító berendezés.



3.7. ábra. Adatgyűjtő rendszerrel ellátott fagyasztva szárító berendezés
(Forrás: saját felvétel)

A mérőrendszer összeszerelését követően került sor a próbaüzemelésre, ahol üresen járattuk a szárítóberendezést, és megfigyeltük, hogy a vákuum és az alacsony hőmérséklet hogyan befolyásolja a tömegmérés eredményét. A későbbi méréseknél az adatgyűjtővel mért tömegértékekhez hozzáadtam az üresjáratú értékeket, így kaptam meg a tényleges tömegmérés eredményét.

3.3.3. Üzemi vákuum-fagyasztva szárító berendezés

A kísérleteket másrészt – összehasonlítás céljából – üzemi körülmények között is elvégeztem, egy debreceni székhelyű vállalatnál. Az ún. szublimációs szárítóberendezés alkalmazásával kutatást végeznek funkcionális preventív, terápiás táplálékok és táplálék-kiegészítők előállítására.

A szublimációs szárító működéséhez két műszaki berendezés egyidejű alkalmazása szükséges. Az egyik, a lég-turbóhűtőgép, melynek lényege, hogy atmoszférikus levegővel mínusz 50-130 °C hőmérséklet tartományba eső hűtési igényt tud kielégíteni, a másik a szublimációs berendezés, mely a vákuumban történő víztelenítést segíti elő.

A hűtési folyamatban – a jelenleg használatos technológiákkal ellentétben – semmiféle vegyi anyag nem vesz részt, így környezetkímélőbb, és üzemeltetése is gazdaságosabb. A berendezés működési elvéből adódóan a hűtési folyamat során kihagy egy más hűtőberendezéseknél a vegyszeres hűtőközeg elpárologtatásához, illetve sűrítéséhez szükséges fázist. A hagyományos kompresszoros hűtőberendezésekkel mínusz 55 °C-nál alacsonyabb hőmérséklet sem állítható elő, míg a kifejlesztésre került technológiával mínusz 130 °C is elérhető. A berendezés működése során a gépből kilépő 100-120 °C forró levegő hasznosítható energia-előállításra (a szárítókamra fűtése), így energetikailag zárt rendszer létrehozása lehetséges.

A szárítót egy hétfokozatú, axiális kompresszor, turbó-expanziós axiális hűtőgép, két regeneráló egység, háromszelepes hidraulikus meghajtású kamra, sokszorozó, valamint villanymotor alkotja.

A lég-turbóhűtő gép alapvető kedvező tulajdonságai a következők:

- hideg hűtőközegként, és a hordozó közegként atmoszférikus levegőt használ, aminek következtében a gép használata egyszerű és veszélytelen,
- nincs szükség vízre a hideg-ágens hűtéséhez,

- a hideg levegővel létrejött közvetlen kapcsolat révén hozza létre a hűtési folyamatot a különböző egységeken,
- gyorsan eléri a tervezett nominális üzemi paraméter-értékeket.

A rendszer másik, fontos része a szublimációs berendezés. A berendezés két, egyenként 160 kg anyag befogadására alkalmas kamrából áll, amelyekben a szublimátor és a kondenzátor ágán elhelyezésre kerül a turbó-hűtőgép, a vezérlő és ellenőrző rendszer, a hűtőközeg továbbító rendszer és a vákuum kamrák rendszere. A vezérlés és ellenőrzés folyamata az LCD panelen figyelemmel kísérhető, a program módosítása érintésérzékeny kapcsolókkal történik, ezek mellett a szoftver tartalmaz automata üzemmódot is. A szublimátor és a kondenzátor munkaterének felmelegítése a szárítási folyamatban többlet energia betáplálása nélkül történik, a hűtőgép kompresszorában összenyomott levegő hőjének felhasználásával.

A 3.8. ábrán látható a liofilizáló berendezés fő részei, a szublimációs szárító és a lég-turbóhűtőgép.



3.8. ábra. Üzemi méretű liofilizáló kísérleti berendezés a részegységeivel együtt

(Forrás: Antal et al., 2009)

A szárítási folyamat három fázisban valósul meg: az első, kezdetben a termék gyorsan lefagy az alacsony hőmérsékletre. Ennek során a benne lévő víztartalom jégkristályokká alakul. A második fázis a vákuumban történő víztelenítés: a kristályos víztartalom eltávozik a szublimáció következtében (kb. 40 °C hőmérséklet hatására vízgőzzé alakul).

Ebben a lépésben a víztartalom 80 - 90 %-a eltávozik. A harmadik fázis a deszorpció, ahol a maradék víz nagy részét távolítjuk el (Antal et al., 2009).

Az üzemi szárító fontosabb technikai paramétereit a 7. melléklet közli.

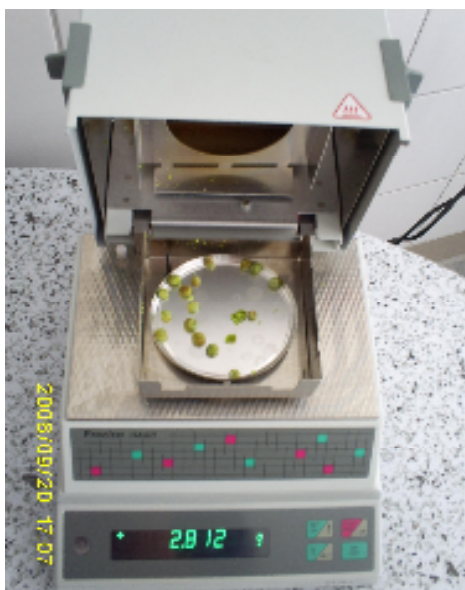
3.4. A mérőműszerek és a mérési eljárások bemutatása

A szárítmány minőségét befolyásoló jellemzők mérése és kiértékelése a következő műszerekkel és módszerekkel történt:

- Nedvességtartalom-meghatározása: PRECISA HA 60 típusú gyors nedvességmérővel.
- Konvektív eljárás szárítási paramétereinek mérése: TESTO 4510 típusú mérőkészülékkel.
- Az anyag kémiai összetételének detektálása: Titrálással, magas nyomású folyadékkromatográfiával (HPLC), szárítószekrénnel stb.
- A szárítmány szilárdságának meghatározása: MGA-1091 típusú elektronikus penetrométerrel.
- A szárított anyag vízfelvevő aktivitásának mérése nedvesítő közegben.
- A szerkezeti struktúra vizsgálata: BRESSER BIOLUX típusú elektromikroszkóppal.

3.4.1. Nedvességtartalom-meghatározás

A nyersanyag, a szárítmány, illetve a rehidrált termék nedvességtartalmát – mely adatok szükségesek a szárítási és minőségi jellemzők pontos meghatározásához – PRECISA HA 60 típusú nedvességmérő berendezéssel értékeltem ki a Jármű- és Mezőgazdasági Géptani Tanszék laboratóriumában. A készülék a 3.9. ábrán látható.



3.9. ábra. PRECISA HA 60 típusú nedvességmérő

(Forrás: saját felvétel)

A berendezés a nedvességtartalom gyors kiértékelésére alkalmas. Infravörös szárítás módszerével határozza meg az aktuális nedvességtartalmat az alábbi képlet alkalmazásával (Beke, 1994):

$$X = \frac{m_{nedves} - m_{szárított}}{m_{nedves}}, \quad (3.1)$$

ahol: X a minta nedvességtartalma [kg/kg], m_{nedves} a nedves anyag tömege [kg], $m_{szárított}$ a szárított anyag tömege [kg].

A sugárzótest egy izzólámpa, mely igen kicsiny méretű, aprított anyagok, granulátumok, porok, folyékony anyagok vízelvonására alkalmas.

A nedvességmérő kalibrálása után, a következő menüpontokkal állítható be a folyamat karakterisztikája: hőmérséklet, a sugárzás intenzitása, hőszint, hőntartás ideje. A készülék automata és félautomata üzemmódban is működik.

A PRECISA HA 60 típusú nedvességmérő fontosabb technikai adatait a 8. melléklet tartalmazza.

3.4.2. A konvektív eljárás szárítási paramétereinek mérése

Az LP 302 típusú hengeres szárítóberendezés hőtechnikai mérését a Testoterm 4510 típusú mérőkészülékkel végeztem.

A mérőkészülék három mérőműszerből épül fel, ezek a hőmérsékletmérő, relatív páratartalom-mérő, és a légsebességmérő. Kiegészítő berendezései: a teleszkóp, hálózati tápegység, és 9 voltos elem. A komplett egység egy mérőbőröndben van elhelyezve (3.10.ábra), a TESTO 4510 fontosabb technikai paramétereit pedig a 9. melléklet mutatja be.

A mérőműszer az aktuális értéket kijelzi a monitoron, és ezeket az adatokat, ha szükséges menteni is tudjuk. Egyszerre két mérés lebonyolítására is alkalmas.

A hőmérsékletmérő antenna folyékony és légnemű anyagok hőmérséklet-mérésére alkalmas. Rövid válaszidővel rendelkezik, mindez 1 másodpercet jelent. Az antenna átmérője 1,5 mm.

A szélesség-mérőszonda nemcsak a légsebesség mérésére alkalmas, hanem lég-hőmérsékletet is mér. A szonda feje különböző átmérővel készülhet: 16 mm, 25 mm.

3.4.3. A beltartalmi összetevők meghatározásának analitikai módszerei

Az analitikai méréseket a Nyíregyházi Főiskola, Agrár és Molekuláris Kutató Intézet akkreditált laboratóriumában végeztük, a minták elemzésében magam is közreműködtem.

Nedvességtartalom (száranyag-tartalom) meghatározása (MSZ EN 12145)

Cukortartalom-meghatározás

57

meghatározott módon forrásig melegítettük Cu(II)-ionokat tartalmazó oldattal, mely Cu(I)-ionná alakult. A Cu(II) felesleget jodometriásan határoztuk meg.

A szénhidrátok mennyiségi meghatározása HPLC-vel történt. A nagynyomású folyadékkromatográfia az oszlopkromatográfia elvei szerint, az oszlopra felvitt minta komponensekre bontása acetonitril-víz eluáló oldattal és aminocsoportot tartalmazó állófázissal. A derített és reverz fázison szintelenített oldatból 25 µl-t fecskendeztünk be a kromatográfiás berendezésbe, és az elució kromatogramot regisztráltuk. Detektorként differenciál-refraktométert használtunk. A készülék kalibrálásához a mintában előforduló cukrok pontos bemérésével etalonoldatot készítettünk, amelynek koncentrációját a mintaoldatok koncentrációjának megfelelően választottuk meg, és a különböző koncentrációjú oldatokból azonos mennyiséget vittünk a rendszerbe. A bevitt mennyiség függvényében ábrázoltuk a kapott kromatográfiás csúcsok magasságát és erről olvastuk le az ismeretlen mintában lévő cukrok mennyiségét (*Farkas et al., 1990; Siró, 2007*).

A keményítőtartalmat polarimetriás módszerrel mértük (*MSZ 6367/13-1982*). A módszer két meghatározásból áll. Az első meghatározás során a mintát forró állapotában híg sósavval kezeltük. Tisztítás és szűrés után az oldat optikai forgatóképességét polarimetriával mértük.

A második meghatározás esetében a mintát 40%-os etanollal extraháltuk. A szűrlet sósavval való savanyítása, tisztítás és szűrés után az optikai forgatóképességet az első meghatározás szerint vizsgáltuk. A minta keményítőtartalmát úgy kaptuk meg, hogy a két mért érték különbségét megszoroztuk egy ismert együtthatóval.

Az összes savtartalom kimutatása (MSZ ISO 750-2001).

A megfelelően előkészített (finomra aprított) mintából aliquot mennyiséget lemérve hígítást készítettünk, majd a hígított oldat pontosan ismert hányadát 0,1 mol/dm³ töménységű NaOH-oldattal indikátor (fenolftalein) jelenlétében színátcsapásig titráltuk. A fogyott NaOH-oldat mennyiségéből a minta összes savtartalmát a bemérés ismeretében kiszámítottuk.

Szerves gyümölcssavak meghatározása

A szervessavtartalom meghatározása HPLC-vel történt. A detektálást UV-VIS fotometriás gázelemzővel végeztük.

A klorogénsav mérése is HPLC-vel történt C₁₈-as kolonnával.

Fehérjék vizsgálata

Dumas-Pregl eljárással történt (MSZ 6830/4-1981). A mintamátrixot égetéssel (száraz roncsolással) elbontottuk, és keletkezett gázelegy N_2 -tartalmából következtettünk a fehérjetartalomra. A mérés során a pontosan bemért mintát $860\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékleten, tiszta oxigénben, CuO-katalizátort tartalmazó reaktortérben égettük el, ahol az égés során H_2O , CO_2 és N_xO_x (és kis mennyiségben más összetételű) gázelegy keletkezett. A vivőgázzal áramoltatott gázelegy CO_2 - és H_2O -tartalmát specifikus tölteteken átvezetve megkötöttük, a vegyes összetételű nitrogén-oxidokat izzó rézspirálon N_2 gázzá redukáltuk. A N_2 mennyiséget hővezetőképesség-detektor alkalmazásával határoztuk meg. A művelet végét a nitrogén/fehérje átszámítás zárta.

Zsirtartalom meghatározása (MSZ 6830/6-1984)

Petroléteres extrahálást alkalmaztunk Soxhlet-féle extraháló készülékkel. A berendezésben az oldószer a melegítés hatására párologni kezdett, gőzei a hűtő alsó részén lecsapódva az extrahálandó anyagra csepegett addig, míg a kondenzátum el nem érte a szivornya felső szintjét. Ekkor az oldószer az alsó lombikba szivódott a kioldott zsíradékkal együtt. Ennek letelte után az oldószer utolsó részét szellős helyen (ablakban, fülke alatt) elpárologtattuk. Ezután a kioldott zsíradékot szárítószekrényben szárítottuk súlyállandóságig $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on, majd lehűtöttük az exsikkátorban. A zsírt visszamértük és kiszámítottuk a zsirtartalom értékét.

Ásványianyag-tartalom kimutatása

Hamutartalom-mérés (MSZ EN 1135-1995). Az analitikailag lemért tömegű mintát szárítószekrényben megszáritottuk $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on, majd platinacsészébe helyeztük, és izzítókemencében elhamvasztottuk $520\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on. Ezután exsikkátorban lehűtöttük. A keletkezett hamu tömegét analitikai pontossággal visszamértük. A hamutartalmat végül a bemért minta tömegszázalékában adtuk meg.

A makro- és mikroelemek meghatározása is a Magyar Szabvány szerint történt. Először a mintákat ledaráltuk, és $520\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on elhamvasztottuk. A törzsoldat készítése után a magnézium (MSZ 6830/21-1980), a mangán (MSZ 6830/24-1980), a cink (MSZ 6830/25-1980), a réz (MSZ 6830/23-1980) és a vas (MSZ 6830/22-1980) meghatározás atomabszorpciós spektrofotométerrel történt. A kálium (MSZ 6830/28-1980) és a kalcium (MSZ 6830/20-1980) meghatározása ugyanezzel a készülékkel emissziós üzemmód-

ban történt. A nitrogén-tartalom (MSZ 1385-1987) meghatározását Kjeldahl módszerrel végeztük (Benton Jones et al., 1991).

Lángfotométerrel pedig a nátrium- (MSZ 6830/29-1980) és foszfor- (MSZ ISO 6491-1990) tartalmat mértük. A mérés során az alkáli- és alkáliföldfémeknek azt a tulajdonságát használtuk ki, hogy oldatukat lángba porlasztva az ionok egy (kis) része atomos állapotba kerül, majd a láng energiája által elektronjaik gerjesztődnek. A gerjesztett elektronok alapállapotukba történő visszatérésekor karakterisztikus, az atomra specifikus hullámhosszú fényt sugároz ki (lángfestés). Az atomok mennyisége a beporlasztott oldat ionkoncentrációjával arányos, és a lángfestés intenzitása a láng hőmérséklete és a készülék jellemzői mellett ennek a függvénye lesz. A készülék a mérés alatt a szérumot egy belső standardként is szolgáló oldattal hígítja, és ilyen formában porlasztja a lángba. A láng fénye egy, az adott ion mérési hullámhosszának megfelelő szűrőn keresztül vetül a fotocellára.

Aromaanyagok meghatározása

Az illó anyagokat gázkromatográfiás módszerrel vizsgáltuk, ami lángionizációs detektorral volt ellátva. Az illó anyagok deszorbeáltatását hődeszorpciós készülékkel végeztük, és DB-5 kapilláris oszlopra injektáltuk. A vegyületek azonosítását a DB-5 fázison mért retenciós adatok és tömegspektrumuk alapján végeztük, standard anyagokkal összehasonlítva. A tömegspektrumokat 70 eV mellett vettük fel elektronütköztetési üzemmódban (Siró, 2007).

Élelmirost-tartalom mérése

Van Soest (Van Soest és Wine, 1967) módszerrel történt a meghatározása, a 7,0 pH-ra beállított, ún. neutrális detergens oldattal. Egy óráig tartó főzéssel kioldottuk a növényi sejtek oldható sejttartalmát, azaz az ásványi anyagokat, a nyersfehérjét, a nyerszsírt, a cukrokat, a keményítőt, és a pektint. A vízzel, majd ecettel történt átmosás után a visszamaradó rész, az ún. neutrális detergens rost, mely tartalmazza a sejtfal-összetevőket, azaz a hemicellulózt, a kovasavat, a lignint és a kutint. Ezt követően a neutrális detergens rost alkotóit 0,5 mol kénsavat és cetil-trimetil-ammónium-bromidot tartalmazó oldatban főztük, amelynek hatására a hemicellulóz oldatba ment át. A maradék, az ún. sav-detergens rost már csak a cellulózt, lignint és a kutint tartalmazza. A cellulózt és

a lignint 72%-os kénsavoldatban választottuk szét, ennek során kinyertük az ún. sav-detergens lignin frakciót.

Vitaminok vizsgálata

E-vitamin mérése (MSZ 6830/37-1985 szabvány szerint). A tokoferolok kinyerését és dúsítását a különböző mintákból hagyományos oldószeres extrakcióval végeztük. Az így kapott nyers izolátumban a komponensek elválasztását normál fázisú nagy hatékonyságú kromatográfiával végeztük (HPLC) magas hőmérsékleten. A detektálás UV-detektorral (spektrofotométer) történt.

C-vitamin mérése redoxi-titrálással (MSZ ISO 6557-2:1991). A reakcióban az aszkorbinsav dehidroaskorbinsavvá oxidálódik. Az oxidációhoz szükséges brómot bromid- és bromátion reakciójával nyertük. A bromidot feleslegesen alkalmazva a bromát határozza meg a képződő bróm mennyiségét. A titrálás végpontjában megjelenő fölös brómot az indikátor színváltozása jelezte.

B-vitamin-csoport mérése (Siró, 2007). A B-vitaminok meghatározására fordított fázisú HPLC-t használtunk. C₁₈ oszlopot alkalmaztunk. Eluens víz volt, az elválasztás izokratikus módszerrel történt. A detektálást UV-detektorral végeztük.

Flavonoidok meghatározása

A flavonoidok elválasztása HPLC-vel fordított fázison (C₁₈ oszlop) történt. Eluensként szerves oldószer keveréket (metanol) használtunk. A savas módosítóra azért volt szükség, hogy visszaszorítsuk a savasabb jellegű fenolos csoportok ionizáltságát, illetve, hogy megakadályozzuk e csoportok reakcióját a rendszerben lévő maradék fémekkel. A csúcsmagassághoz – mellyel a mennyiségi meghatározást végeztük el – trifluor-ecetsavat alkalmaztunk. A detektálást LC-MS (tömegspektrometria) technikával hajtottuk végre (Siró, 2007).

Karotinoidok kimutatása

A fordított fázist (RP-HPLC) alkalmaztuk karotinoidok meghatározására. Az álló fázis C₁₈ oszlop volt. A hatékony elválasztást gradienselúció alkalmazásával valósítottuk meg. Eluensként vizet használtunk. A detektálás UV-VIS detektorral (450 nm-en) történt (Siró, 2007).

3.4.4. A szárítmány szilárdságának meghatározása

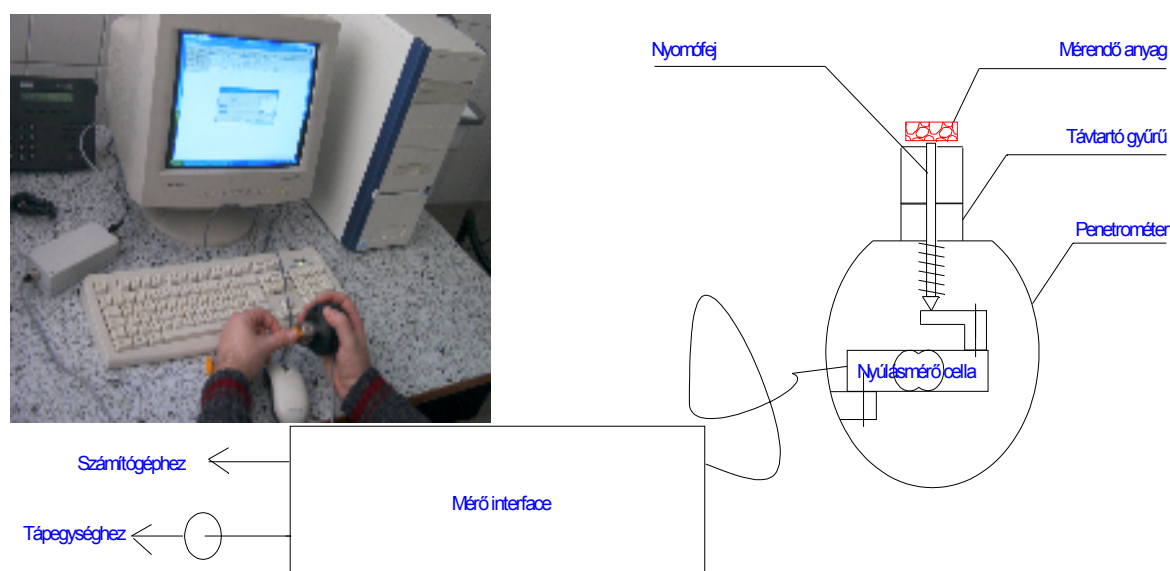
Az MGA-1091 típusú elektronikus penetrométer gyümölcsök és zöldségek keménységének közvetlen mérésére alkalmas. A Budapesti Corvinus Egyetem Élelmiszer-tudományi Kar, Fizika-Automatika Tanszéke és az FVM Mezőgazdasági Gépesítési Intézet együttműködésében fejlesztették ki a műszert (Borsa et al., 2002).

Az elektronikus penetrométer felépítését tekintve egy gömb alakú fogantyúból, a fogantyúban elhelyezett érzékelőből és két nyomófej-készletből áll. Az érzékelő egy nagy érzékenységű nyúlásmérő bélyeg cellát tartalmaz. A méréstartomány 0,50 N és a megengedett max. erő 65 N.

A nyomófej-készletek közül az egyik a rugalmassági tényező roncsolásmentes mérésére, a másik pedig Magness-Taylor-féle roncsolásos keménységmérésre szolgál (Feke-te és Felföldi, 1994).

A rugalmassági tényező mérésére szolgáló nyomófej-készlet három nyomófejet tartalmaz: 4 mm, 6 mm és 8 mm átmérővel. Ezek mindegyike 0,15 mm, 0,3 mm vagy 0,6 mm behatolási mélységre használható. A mélységet különböző vastagságú távtartó gyűrűkkel lehet beállítani.

A 3.11. ábra az elektronikus keménységmérő elvi felépítését és alkalmazását mutatja.



3.11. ábra. Az MGA-1091 típusú elektronikus keménységmérő-műszer

(Forrás: saját szerkesztés)

Az elektronikus penetrométer egy mérőinterfészen keresztül csatlakoztatható a számítógéphez RS232 soros vonalon. A mérőinterfész egy analóg/digitális átalakítót (12 bites) és egy instrumentációs erősítőt tartalmaz. A számítógépre telepített szoftverrel (Penetro) történik a penetrométer kalibrálása, tárázása, a konfigurációs paraméterek bevitel, valamint a mérési eredmények megjelenítése és tárolása (Fekete *et al.*, 2001).

Az elektronikus keménységmérő a rugalmassági tényező, a nyomófeszültség és a nyomóerő mérésére használható. A mérés során a nyomófejet a vizsgált termékhez nyomjuk, majd elengedjük. A készülék csak a nyomófejre ható erőt méri. A kísérlet során a szárítmányra jellemző rugalmassági tényezőt tudjuk mérni, melyet a szoftver kiszámított. Az igen kis deformáció miatt (0,15 – 0,6 mm) a mérés gyakorlatilag roncsolásmentes lesz.

A rugalmassági tényező a következő egyenlettel (3.2) határozható meg, mely a beállított deformációhoz tartozó nyomófeszültség és a deformáció viszonya:

$$c_e = \frac{\sigma}{z} \quad , \quad (3.2)$$

ahol: c_e a rugalmassági tényező [kPa/mm], σ a nyomófeszültség [kPa], z a deformáció [mm].

A nyomófeszültség, pedig a nyomóerő és a nyomófej felületének hányadosával számítható:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad , \quad (3.3)$$

ahol: σ a nyomófeszültség [kPa], F a nyomóerő [N], A a nyomófej felülete [m²] (Fekete *et al.*, 2001).

Komándiné (1981) szerint a kézi penetrométer pontosságát, a vizsgálatot végző személy begyakorlottsága meglehetősen befolyásolja. Ezért célszerű, ha ugyanazon mérés-sorozatban a vizsgálatokat azonos személy végzi. Szerinte ez a módszer a gyakorlat számára elegendő pontosságot ad, a mérési hibákat, pedig nagyobb számú méréssel lehet kompenzálni.

A szárított zöldség- és gyümölcsminták keménységméréséhez 4 mm átmérőjű nyomófejet és 0,15 mm-es távtartó gyűrűt használtam. Roncsolásmentes vizsgálatot valósított-

tam meg, mivel a szárítmányok felületi keménységére voltam kíváncsi. Meghatározott pontokon mértem a termék héját és húsát (általában hat-nyolc darabot jelöltem ki), a minta szélétől a belseje felé. A méréseket naponta több alkalommal végeztem el, az így kapott adatok átlagával számoltam és rögzítettem a jegyzőkönyvben. A mérések a Jármű- és Mezőgazdasági Géptani Tanszék laboratóriumában lettek végrehajtva.

3.4.5. A szárított anyag vízfelvevő aktivitásának mérése

A kísérlet menete a következőképpen alakult: a különböző szárítási eljárással dehidratált minták tömegét megmértem, aztán belehelyeztem 35 és 75 °C-os vízzel töltött edényekbe. A folyadék hőmérséklete a kísérlet alatt állandó volt, amit folyadék utánpótlással biztosítottam. A mintákat 0.5, 5, 10, 15, 30, 60, 90 min időtartam után kivettem a folyadékból és nedvszívó réteg segítségével a felesleges nedvet eltávolítottam a felületükről. A kísérlet végén, a rehidratált minták tömegmérését és a rehidrációs ráta (RR) [2.11 egyenlet szerint] számítását végeztem el. A kísérleteket *Tein et al. (1998)* által végrehajtott módszert követve végeztem el a Jármű- és Mezőgazdasági Géptani Tanszék laboratóriumában.

A rehidráció folyamata a 3.12. ábrán látható.



3.12. ábra. A dehidrált minták visszanedvesítése

(Forrás: saját felvétel)

A rehidráció kinetikája

A következőkben a visszanedvesedés alatt lejátszódó folyamat optimalizálása érdekében a rehidráció kinetikájának matematikai modellezését mutatom be.

A rehidráció kinetikája az alábbi elmélettel közelíthető (Antal, 2008). A felállított modell számítása integrálással történt, az adatfeldolgozásához Excel programot használtam.

A meghatározásához a *Lewis-féle egyenletből* (1921) (2.2.4. fejezetben került levezetésre) kell kiindulnunk, mely a szárítás kinetikai görbe alakjának félempirikus matematikai egyenlete a vékonyrétegű szárítás esetén

$$\frac{dX}{dt} = -k(X - X_e). \quad (3.4)$$

Ez a következőképpen változott rehidráció esetében

$$\frac{dX}{dt} = -k_r(X_{rh} - X_e), \quad (3.5)$$

ahol: dX/dt a visszanedvesedési sebesség [kg/kg/min], X_{rh} az anyag nedvességtartalma a visszanedvesedés alatt [kg/kg], X_e a rehidratált anyag egyensúlyi nedvességtartalma [kg/kg], k_r a rehidrációs tényező.

A (3.5) egyenlet integrálása után

$$\frac{X_{rh} - X_e}{X_i - X_e} = e^{-k_r \cdot t}, \quad (3.6)$$

ahol: X_i a szárított anyag nedvességtartalma [kg/kg], t a rehidrációs idő [min].

Az egyenletrendezés után megkapjuk a *visszanedvesedés egyenletét*, amely a következőképpen alakult

$$X_{rh} = X_e + (X_i - X_e) \cdot e^{-k_r \cdot t}. \quad (3.7)$$

Ezt az egyenletet határozták meg Pappas et al. (1998) mikrohullámú-vákuum eljárással szárított gyümölcsök rehidrálásához. Az általuk kialakított egyenlet annyiban módosult, hogy – a szárított anyag víztartalmát – X_i -t ($X_i=0$) elhanyagolták. A vákuumfagyasztva- és konvektív szárításnál nem hanyagolhatjuk el a szárított anyag nedvességtartalmát (ami az anyag rehidrálás előtti víztartalma), mert a kötött víz teljes része – a

micellák felületén szilárdan adszorbeálódott folyadék, a kémiaiilag kötött nedvesség – nem távolítható el ezekkel az eljárásokkal.

Az egyenlet átrendezésével megkapjuk a ténylegesen érvényesülő rehidrációs tényező (k_r) értékét liofilizált és konvektív módszerrel szárított élelmiszerek esetében

$$k_r = -\ln \frac{(X_{rh} - X_e)}{(X_i - X_e)} / t. \quad (3.8)$$

A matematikai modell csak abban az esetben alkalmazható, ha a következőket feltételezzük, a rehidráció alatt:

- a minták nedvességtartalma (a szárítás utáni) azonos,
- a szárított minták hasonló tömeggel, mérettel rendelkeznek,
- az anyag teljes felületével belemerül a vízbe,
- a víz hőmérséklete állandó a visszanedvesedés alatt.

3.4.6. A szerkezeti struktúra vizsgálata

A szárítás hatására kialakuló növényi sejtfalak elváltozásait, károsodásait mikroszkopos vizsgálatok által kívánom alátámasztani. A zöldség- és gyümölcsmetszeteket BRESSER BIOLUX AL típusú elektromikroszkóppal vizsgáltam a Jármű- és Mezőgazdasági Géptani Tanszék laboratóriumában (3.13. ábra).



3.13. ábra. BRESSER típusú áteső fény mikroszkóp kamerával ellátva

(Forrás: saját felvétel)

Az elektromikroszkópos vizsgálatok során az alábbi előkészítési protokollt alkalmaztam: a nyersanyagból, és a szárított anyagból finom metszeteket (kb. 10 mikrométer) vágtam ki mikrotommal. Ezeket a metszeteket egy üveg tárgylemezre helyeztem, fedőanyaggal bekentem és befedtem fedőlemezzel. A dehidrált preparátumok elkészítésekor, a szárított metszeteket – az alacsony nedvességtartalom miatt – szükség volt desztillált vízzel felhígítani, ez úgy történt, hogy pipettával egy csepp desztillált vizet cseppentettem a tárgyra. A kész preparátumot végül a mikroszkóp tárgyasztalára szorítottam, felkészítve a megfigyelésre.

A mintákról különböző nagyítású ($4\times$ és $10\times$) képeket készítettem, a képfeldolgozás pedig MicrOculár elnevezésű programmal történt. A mikroszkóphoz csatolt kamerán át a felvételeket a számítógépre közvetítettem.

A szoftver működtetése egyszerű: megfelelő élességre állítjuk a képet a mikroszkópon, ezután pillanatfelvételt készítünk róla, és ha megfelelő a minősége, elmentjük a számítógépbe.

3.4.7. A mérési eredmények kiértékelési algoritmusa

A mérési eredmények grafikus megjelenítésére és összehasonlítására a Microsoft Office Excel 2003 táblázatkezelő programot használtam.

A liofilizált anyagok szárítási görbéire, szintén Excel program segítségével végeztem függvényillesztéseket. A szárítási folyamatot leíró görbére a legjobb illesztést harmadfokú polinom függvényekkel kaptam, ezt igazolta az $R^2=0,98-0,99$ értékű korrelációs koefficiens is. A polinomok matematikai levezetésével és illesztésével behatóan Sváb (1981) foglalkozott.

4. EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

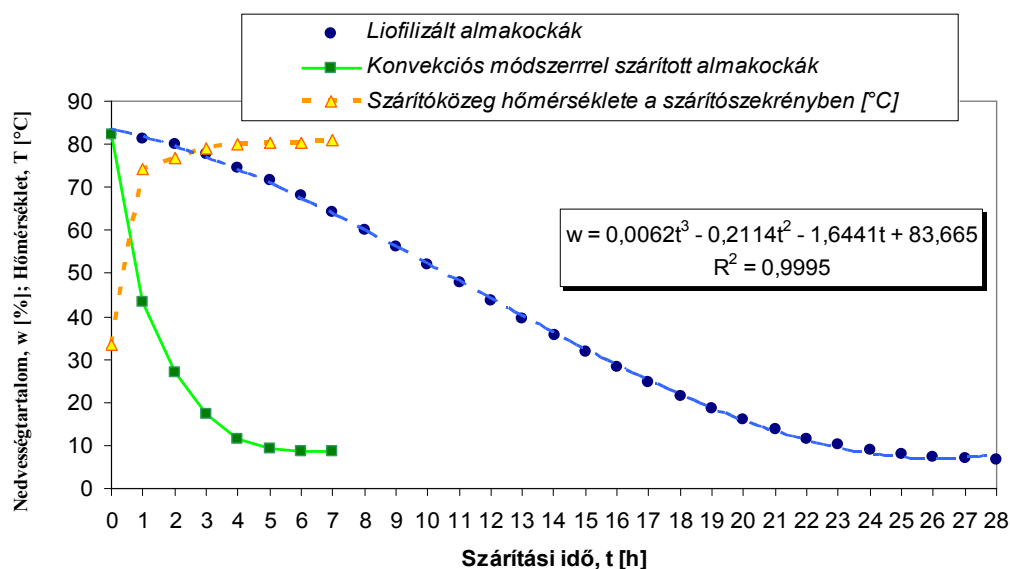
Az eredmények felépítése a 3.1. fejezetben ismertetett kísérleti modellben leírt folyamatokat követi. Így az alábbiakban a dehidrált anyagokat jellemző minőségi tulajdonságokkal kapcsolatos mérési eredményeket közlöm.

4.1. Hő- és anyagátadási folyamatok a gyümölcs- és zöldségszárítmányoknál

4.1.1. Gyümölcs- és zöldségszárítmányok szárítási görbéi

A gyümölcs- és zöldségfélék szárítási görbéit laboratóriumi szárítóberendezésekkel határoztam meg. A száradó minta nedvességtartalmának változását tömegmérésből számítottam (3.3.2. fejezet). A nagyszámú méréssorozat miatt csak néhány reprezentatív eredményt ismertetek. A kertészeti termékek szárítási görbéit a 4.1. – 4.2. ábrák és a 10. melléklet szemléltetik. A görbéket az anyag nedvességtartalma és a szárítási idő függvényében ábrázoltam.

Az almafajták ('Jonathan', 'Idared', 'Jonagold', 'Golden Delicious') mintáinak dehidrációját külön-külön és együtt is elvégeztem. A 4.1. ábra az egyidejű szárítást ismerteti almafajtáknál.

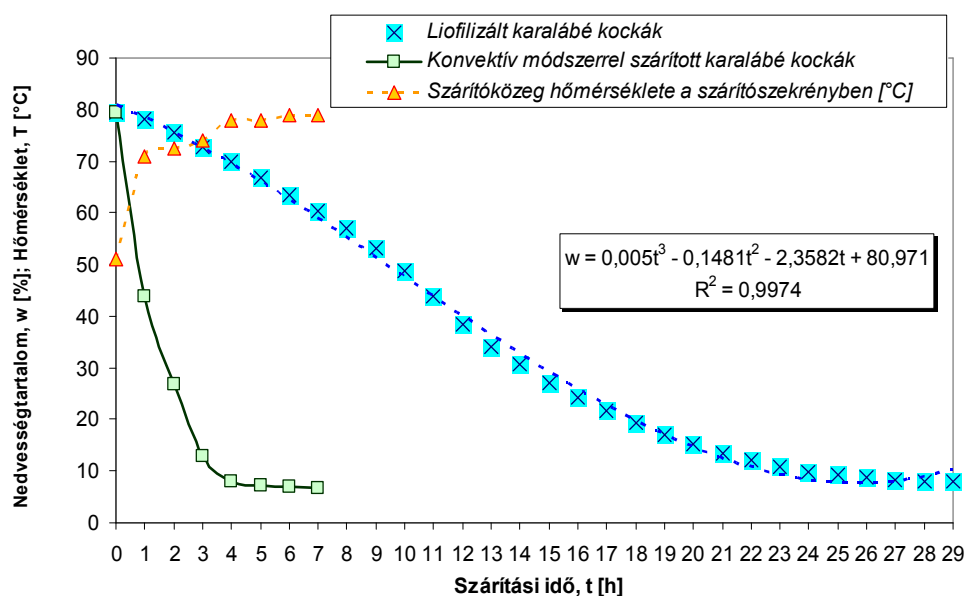


4.1. ábra. A konvektív és vákuum-fagyasztva szárított almakockák szárítási görbéje a vizsgált négy fajtánál

Az almafajták szárítási paramétereit:

	Konvektív szárítás	Vákuum-fagyaszttva szárítás
A nyersanyag nedvességtartalma:	82,34%	82,34%
A szárítmány nedvességtartalma:	8,1%	6,5%
Szárítási sebesség:	10,6%/h	2,7%/h
Szárítási idő:	7 h	28 h
Szárítólevegő hőmérséklete:	80 °C	-
Légsebesség:	1,5 m/s	-

A karalábé ('Gigant') minták szárítási görbéjét a 4.2. ábra mutatja be.



4.2. ábra. A konvektív és vákuum-fagyaszttva szárított karalábékockák szárítási görbéje

A karalábé szárítási paramétereit:

	Konvektív szárítás	Vákuum-fagyaszttva szárítás
A nyersanyag nedvességtartalma:	79,4%	79,4%
A szárítmány nedvességtartalma:	6,81%	8,04%
Szárítási sebesség:	10,37%/h	2,46%/h
Szárítási idő:	7 h	29 h
Szárítólevegő hőmérséklete:	78 °C	-
Légsebesség:	1,5 m/s	-

Az ábrákból kiolvasható, hogy vákuum-fagyaszttva szárítás időtartama hosszabb, mint a konvektív szárításé, ennek oka, hogy a liofilizálás szárítási sebessége alacsony. A szárítási sebességet lehet növelni, és ezáltal csökken a szárítás ideje, illetve nő a készülék kapacitása, de ennek határt szab az anyagban kialakuló feszültség, és az anyag felengedése.

Az ábrák jobb oldalán található egyenlet a vákuum-fagyasztva szárított anyagok nedvességtartalom-csökkenését ábrázoló függvényekre illesztett görbe egyenlete. Mérési tapasztalataim szerint a liofilizált anyagok száradását leíró függvények harmadfokú polinomokkal adhatók meg a legpontosabb illesztéssel, az alábbi általánosítható összefüggéssel: $w=at^3-bt^2-ct+k$. Mindezt bizonyítja az egyenlet alatt látható korrelációs koefficiens (R^2), mely értéke megközelíti a 100%-ot.

A görbékre illesztett harmadfokú egyenlet állandó együtthatóinak és a korrelációs koefficiensek értékeit a 4.1. táblázat összegzi.

4.1. táblázat. A harmadfokú polinomok együtthatóinak és koefficienseinek tartományai

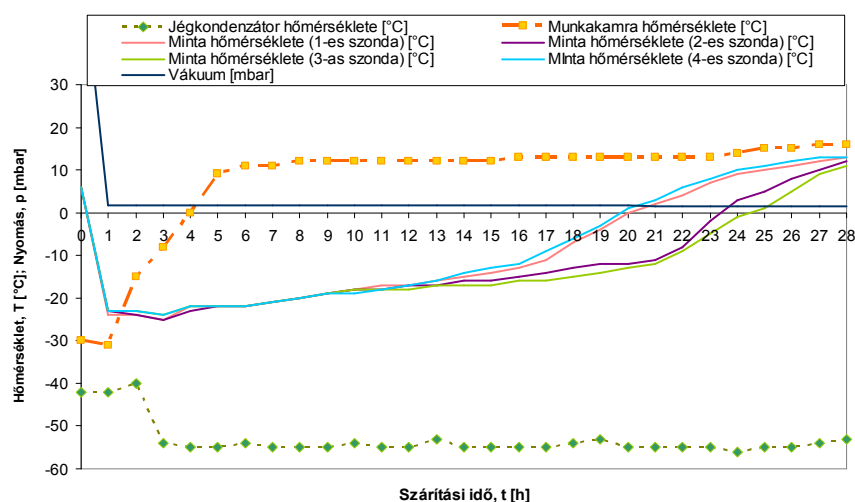
Megnevezés	Együtthatók				Korrelációs koefficiens
	a [-]	b [-]	c [-]	k [-]	R^2 [-]
<i>Gyümölcsök</i>					
Almafajták	0,0062	0,2114	1,6441	83,665	0,9995
Meggyfajták	0,0169	0,5107	0,3304	82,403	0,9998
Szilvafajták	0,0153	0,4937	0,059	83,298	0,999
<i>Zöldségek</i>					
Karalábé (Gigant)	0,005	0,1481	2,3582	80,971	0,9974
Burgonya (Desiree)	0,0026	0,0111	4,5966	81,017	0,9817
Paradicsom (Brillante)	0,0029	0,1057	2,2588	95,736	0,9987
Sütőtök (Nagydobosi)	0,0183	0,6643	2,4391	82,939	0,9989
Sárgarépa (Vörös óriás)	0,0229	0,8182	3,4362	82,29	0,9987
Torma (Bagaméri 93/1)	0,0182	0,5617	0,686	69,532	0,9981

4.1.2. A vákuum-fagyasztva szárított gyümölcs- és zöldségszáritmányok hőmérsékletgörbéi

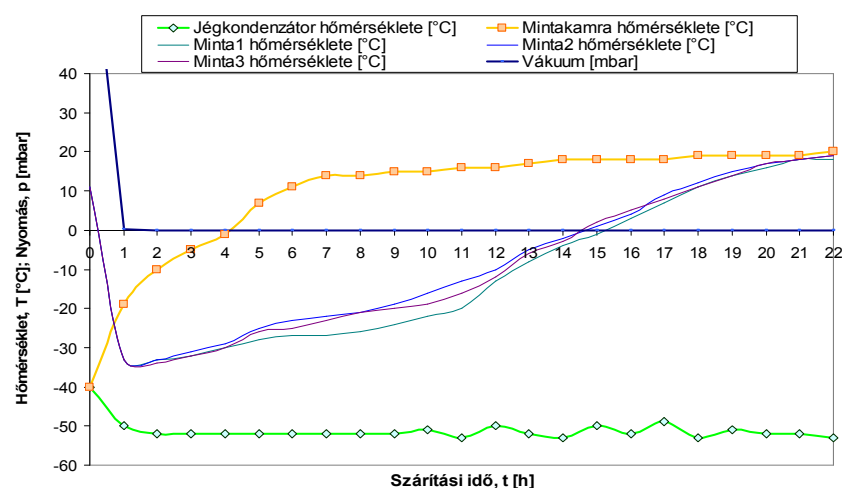
A fagyasztva szárítás folyamata alatt az alábbi paramétereket mértem a liofilizáló berendezésben: a fagyasztókondenzátor hőmérséklete, a munkakamra hőmérséklete, a száradó anyag hőmérséklete (hőelemek alkalmazásával, melyeket beleszúrtam az anyagtálcán elhelyezett mintákba), és a vákuumszivattyú nyomása.

A laboratóriumi és üzemi liofilizálás során lejátszódó hőmérséklet- és nyomásváltozásokat a 4.3. – 4.11. ábrák mutatják be.

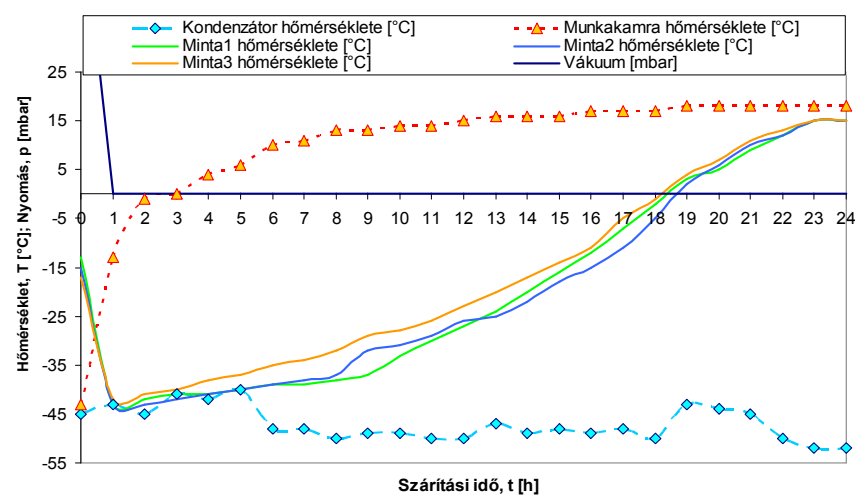
A vizsgált gyümölcsök esetében az alma-, meggy-, szilvafajták mintáinak egyidejű száradása történt, az eredményeket a 4.3. – 4.5. ábrák prezentálják.



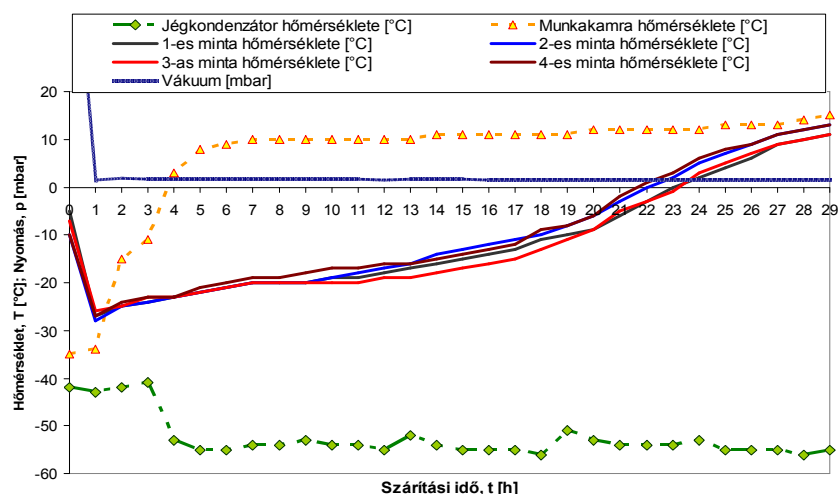
4.3. ábra. Hőmérséklet- és nyomásváltozás az almafajták mintáinak fagyasztva szárítása alatt



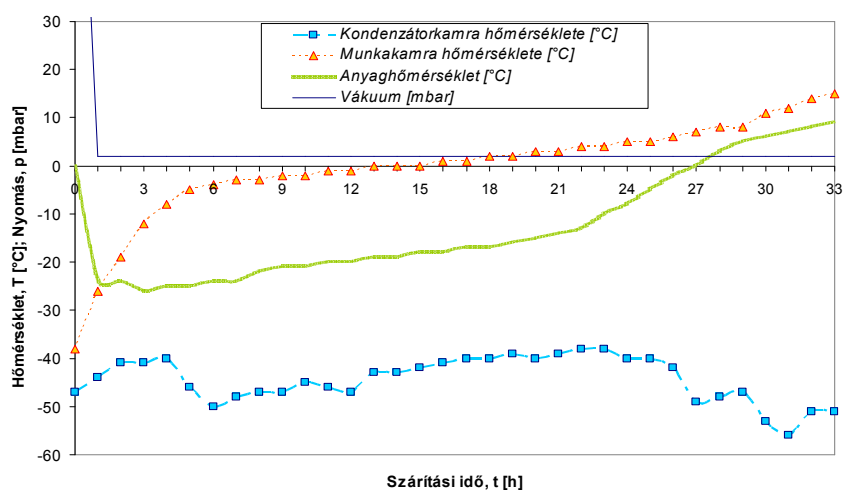
4.4. ábra. Hőmérséklet- és nyomásváltozás a meggyfajták mintáinak fagyasztva szárítása alatt



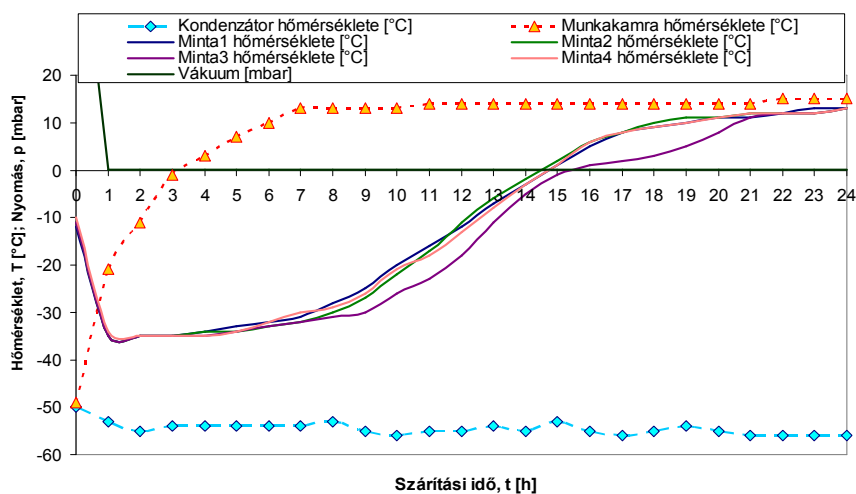
4.5. ábra. Hőmérséklet- és nyomásváltozás a szilvafajták mintáinak fagyasztva szárítása alatt



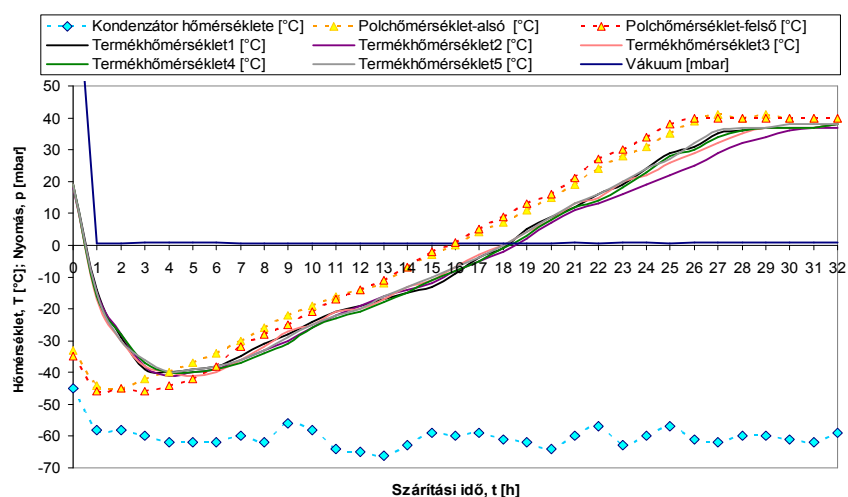
4.6. ábra. Hőmérséklet- és nyomásváltozás a 'Gigant' karalábefajta mintáinak fagyasztva szárítása alatt



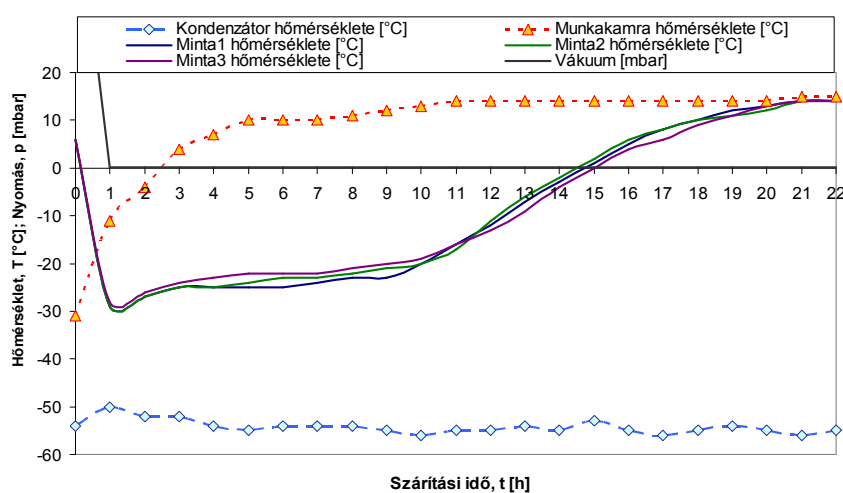
4.7. ábra. Hőmérséklet- és nyomásváltozás a 'Brillante' paradicsomfajta mintáinak fagyasztva szárítása alatt



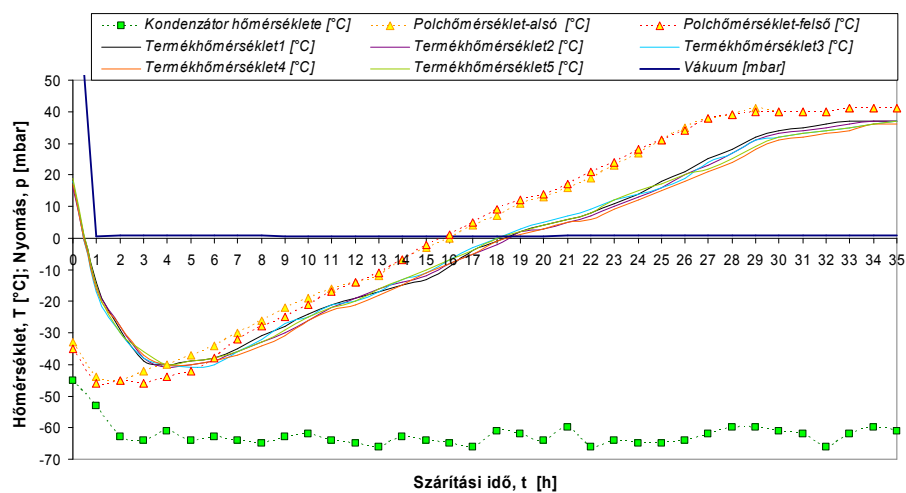
4.8. ábra. Hőmérséklet- és nyomásváltozás a 'Nagydobosi' sütőtökfajta mintáinak liofilizálása alatt (laboratóriumi mérések)



4.9. ábra. Hőmérséklet- és nyomásváltozás a 'Nagydobosi' sütőtökfajta mintáinak liofilizálása alatt (üzemi mérések)



4.10. ábra. Hőmérséklet- és nyomásváltozás a 'Vörös óriás' sárgarépa mintáinak liofilizálása alatt (laboratóriumi mérések)



4.11. ábra. Hőmérséklet- és nyomásváltozás a 'Vörös óriás' sárgarépa mintáinak liofilizálása alatt (üzemi mérések)

A vizsgálati eredmények alapján megállapítható, hogy a szárítás kezdetén a termék fagyott állapotban van, tömegcsökkenés alig észlelhető. Amikor a munkakamrában emelkedik a hőmérséklet, a tömeg csökkenni kezd, ezalatt a kondenzátor folyamatosan a szárítás végéig fagypontra alacsonyodik, hogy az elszublimált nedvességet jég formájában tárolja.

Az intenzitás a fűtőfelület hőmérsékletének emelésével növelhető, de a mérések során kiderült, hogy ennek határt szab, hogy fagyasztva szárítás közben a terméknek nem szabad felengednie (a szöveti víz csak jég és gőz formában lehet jelen a rendszerben).

A szublimáció alatt a vákuumszivattyú folyamatosan szívja el az evakuált térben fel szabaduló gázokat, így a maradéknyomás egyre kisebb lesz. Amikor a vákuum felveszi a kívánt értéket (ez laboratóriumi liofilizálásnál 10-150 Pa között mozog, üzemi liofilizálás során 50-200 Pa közötti értéket regisztrált a nyomásmérő), felgyorsulhatna a szublimáció, de mindez nem történik meg, mert a gőz akkor már a szárított anyag belsejéből (a fagyos magból) távozik.

Amikor a termikus középpont hőmérséklete 0 °C fölé emelkedik, jelzi, hogy a jég teljes mértékben szublimálódott, de a liofilezés még nem fejeződött be. A szublimációs szakasz befejezése után a deszorpciós szakasz következik, amelynek során az adszorbeálódott víz jelentős része eltávozik. A hőmérsékletek (minta, munkakamra) kiegyenlítése a szárítási folyamat végét jelenti.

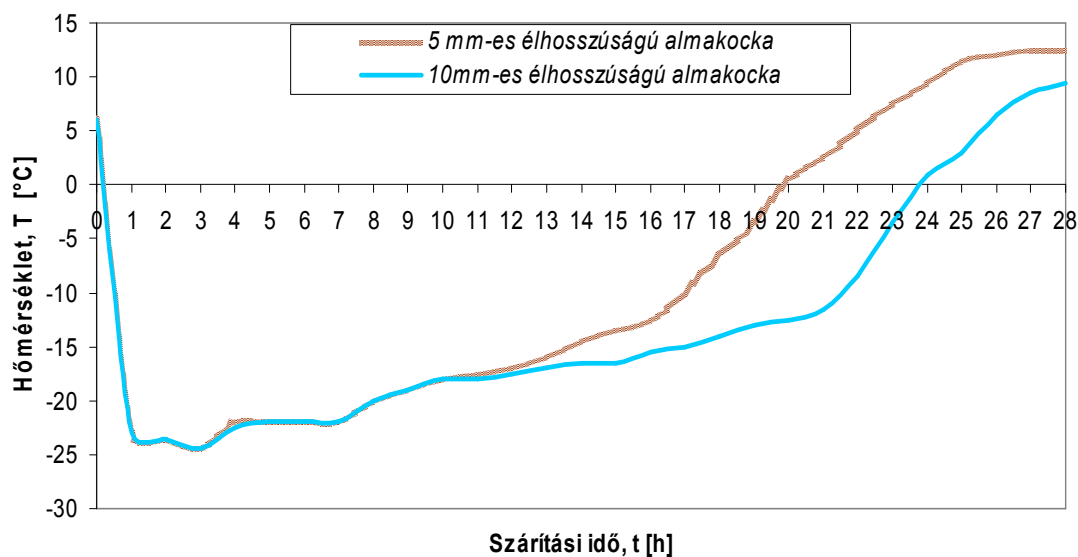
Az ábrákból továbbá az is megállapítható, hogy az üzemi szublimációs szárítás esetében tovább tartott a minták dehidrációja, mint a laboratóriumi vákuum-fagyasztva szárításnál. A hosszabb szárítási idő, kisebb száradási sebességgel járt, mindez hozzájárult a berendezés magas energia-felhasználásához, illetve a jobb termékminőséghez.

4.1.2.1. A szárítási időt befolyásoló fizikai jellemzők (anyagvastagság)

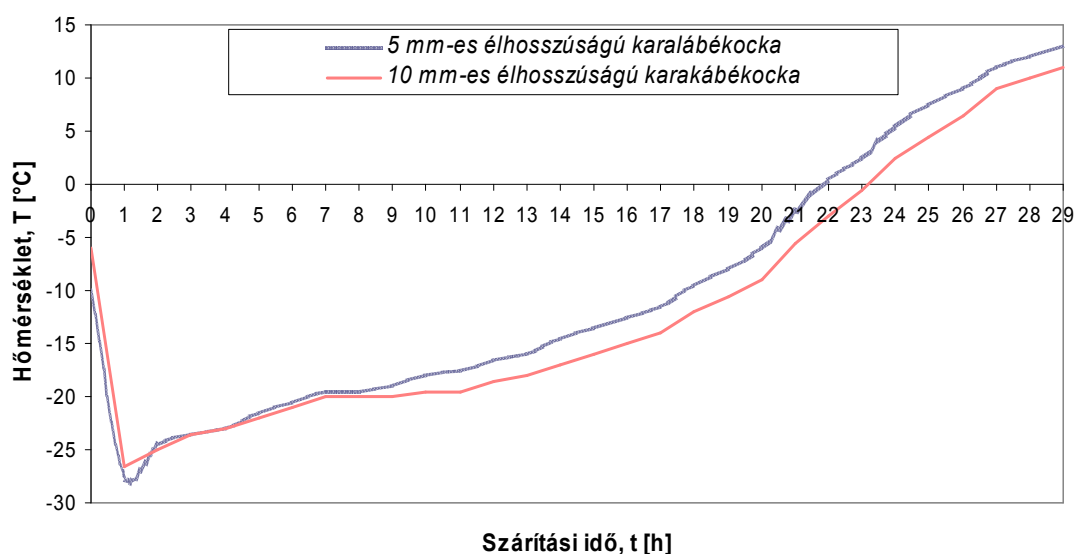
A szárítási időtartamot több tényező is befolyásolja, többek között a fagyasztási sebesség, a hőközlés intenzitása, a kamrában uralkodó nyomás, a rétegvastagság, és az anyag vastagsága stb. A fagyasztási sebességet illetően az az álláspont alakult ki, hogy közepesen gyors fagyasztást célszerű alkalmazni (*Almási, 1977*). A második jellemzőt – a fűtőfelület hőmérsékletének emelését – csak bizonyos korlátok között alkalmazhatjuk, máskülönben anyagkárosodás lép fel. A kamra nyomását a vákuumszivattyú befolyásol-

ja, itt is behatárolt értékkel kell számolnunk, mellesleg a mérés folyamán ezt a jellemzőt nem tudtuk szabályozni.

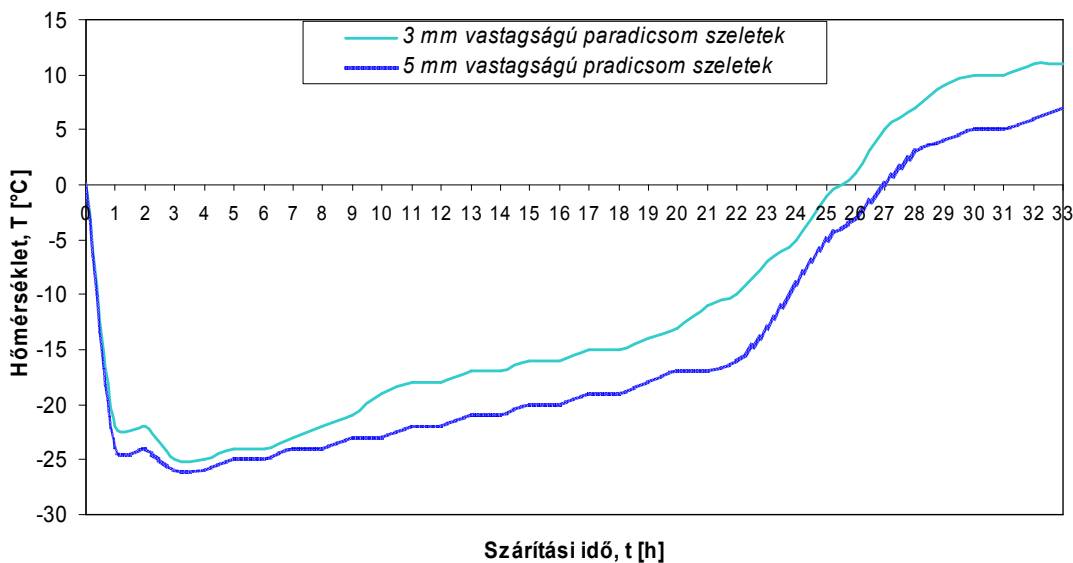
A liofilizálás során, ahogy a berendezés kézikönyve is javasolja egy rétegben szárítottam az anyagokat. Esetünkben így a száradó anyag vastagsága jelentett egzaktabb összehasonlítást. A 4.12. – 4.14. ábrák mutatják, hogy az anyag vastagsága milyen hatással van a szárítási időre.



4.12. ábra. Különböző méretű almakockák szárítási ideje a fagyasztva szárítóban



4.13. ábra. Különböző méretű 'Gigant' karalábekockák szárítási ideje a fagyasztva szárítóban



4.14. ábra. Különböző méretű 'Brillante' paradicsomkorongok szárítási ideje a fagyasztva szárítóban

Az ábrából leolvasható, hogy a kisebb élhosszúságú és vastagságú minták (pl. a 10 mm-es oldalnagyságú mintába az 5 mm-es élhosszúságú minta 8-szor befér) dehidrációja hamarabb befejeződött, és a különbség órákban (átlag 2-4 óra) is kifejezhető. Ami természetesen függ az anyag vízleadási hajlamától, és a szárítás paramétereitől. Az optimális anyagvastagság megválasztásával a szublimáció folyamatát megkönnyítjük, mivel az anyagban előrehaladó szublimációs szint kisebb méretű rossz hővezető képességű rétegen keresztül mozog.

Az eredményeimet tekintve hasonló következtetésre jutottam, mint *Wang és Mao (2002)*. 5 és 7 mm-es anyagvastagságú gyömbér minták liofilizálásával kísérleteztek, megállapították, hogy az 5 mm-es vastagságú anyagok szárítása 2 órával csökkentette az amúgy is hosszú szárítási időt.

4.1.3. A laboratóriumi és üzemi szárítóberendezések energia-felhasználásának összehasonlító vizsgálata

A laboratóriumi és üzemi vizsgálatokat követően meghatároztam a két szárítási eljárás (konvektív, és vákuum-fagyasztva szárítás) energia-felhasználását.

Az almafajták mintáinak fagyasztva szárítása átlagosan 28 órát vett igénybe, ezalatt 250 g-ról 28,5 g-ra csökkent a tömege. Így az óránkénti eltávozó vízmennyiség (ΔS)= 7,91 g/h volt, amely lassú szárítást valósít meg a hagyományos eljárásokhoz képest.

A szükséges hőmennyiség (Q) közlése az alábbiak szerint alakult, a (2.2) egyenlet felhasználásával:

$$Q = 7,91 \cdot 10^{-3} \cdot 2830 = 22,38 \text{ [kJ / h]}. \quad (4.1)$$

A hőközlés a szublimáció és a deszorpció szakaszaiban történik meg. Természetesen nagyobb hőmennyiség bevitele a szublimációt érinti, az utószárításnál már kevésbé intenzív a hőbevitel, hiszen itt már csak a maradék vizet (kb. 10-15%) kell eltávolítanunk.

Az energiafogyasztás (Q_f) a következőképpen alakult az almaminták fagyasztva szárítása esetén, amely kifejezi, hogy 1 kg víz elpárologtatásához mennyi energiát használ fel a berendezés. A számítás úgy történt, hogy az EKM 265 típusú energiafogyasztásmérőről (fogyasztásmérés 9999 kWh-ig) leolvasott eredményt összevettem a szárítás alatt eltávozó víz mennyiségével:

$$Q_f = 68,13 \text{ [kWh / kg víz]}. \quad (4.2)$$

A számított eredmény is átlagérték, mivel nincs lehetőség az összes almafajtánál mért adatokat feltüntetni. A számítás során figyelembe vettem az alábbi fogyasztókat: a hűtő-fűtő berendezés és vákuumszivattyú.

Az almafajták mintáinak konvekciós szárításánál a teljes hőigény (Q) meghatározása az alábbi képlet alkalmazásával történt (Beke, 1994):

$$Q = \frac{L \cdot (h_1 - h_0)}{3600}, \quad (4.3)$$

ahol: Q a teljes hőigény [kJ/h], L a szárítóközeget biztosító ventilátor szállítási teljesítménye [kg/h], h_1 a hőközlés következtében a levegő entalpiája [kJ/kg], h_0 az előmelegítőbe belépő levegő entalpiája [kJ/kg].

A szárításhoz szükséges levegő tömegárama a következőképpen számítható (Beke, 1994):

$$L = \frac{m_v}{x_2 - x_1}, \quad (4.4)$$

ahol: m_v az elvont víz mennyisége óránként [kg/h], x_2 a szárítóból kilépő levegő nedvességtartalma [kg/kg], x_1 a szárítóba belépő levegő nedvességtartalma [kg/kg].

A levegő entalpiájának és a levegő nedvességtartalmának meghatározása a Mollier-féle h-x diagramból történt, így a ventilátor szállítási teljesítményét és a teljes hőigényt ki tudjuk számolni [11. melléklet].

A számítás ellenőrzését az *Air Humid Handling 7.1.* programmal végeztem el, mely a Mollier-féle h-x diagram elektronikus változata. A diagram az általam mért és adaptált adatok alapján (T, ϕ) berajzolja a teljes szárítási folyamatot, és kiírja a további számításhoz szükséges adatokat (h, x). Emellett a legfontosabb számításokat is elvégzi, mint például a terményből felvett víz mennyiséget, a levegővel közölt hőt, és a fajlagos hőfelhasználást.

Az almafajták konvektív szárítása átlagosan 7 órát vett igénybe, ezalatt 250 g-ról 27,3 g-ra csökkent a tömege. A nedves tömeg és a száraz tömeg különbsége adja az óránkénti eltávozó vízmennyiséget, ami (m_v)= 31,814 g/h volt.

A Mollier-féle h-x diagramból leolvasott adatok:

- a szárítóba belépő levegő nedvességtartalma (x_1): 9,5 g/kg,
- a szárítóból kilépő levegő nedvességtartalma (x_2): 119,5 g/kg,
- az előmelegítőbe belépő levegő entalpiája (h_0): 44 kJ/kg,
- a hőközlés következtében a levegő entalpiája (h_1): 104 kJ/kg.

A ventilátor szállítási teljesítménye:

$$L = 0,2892 \quad [\text{kg} / \text{h}] \quad (4.5)$$

A teljes hőigény:

$$Q = 0,2892 \cdot 60 = 17,35 \quad [\text{kJ} / \text{h}] \quad (4.6)$$

Az almaminták konvektív szárításánál – az EKM 265 típusú fogyasztásmérőről leolvasott érték és a szárítás alatt eltávozó nedvességtartalom hányadosa – a szárítószekrény *energiafogyasztása:*

$$Q_f = 8,14 \text{ [kWh / kg víz]} \quad (4.7)$$

Itt a fűtő berendezés és a ventilátor energia-fogyasztásával kell számolnunk.

További gyümölcs- és zöldségfélék szárítása során a számított energia-felhasználás eredményeit foglalja össze a 4.2. táblázat.

4.2. táblázat. Gyümölcsök és zöldségek vízelvonása alatt számított energia-felhasználás összehasonlítása

Megnevezés	Energiafogyasztás [kWh/kg víz]		Hőbevitel [kJ/h]		
	Liofilizálás	Konvektív sz.	Liofilizálás		Konvektív sz.
			Üzem	Labor	
Gyümölcsök					
Almafajták	68,13	8,14	1461,4	22,38	17,35
Meggyfajták	50,72	6,62	-	31,92	16,86
Szilvafajták	51,92	6,12	-	30,73	21,83
Zöldségek					
Karalábé (Gigant)	89,91	14,99	-	15,96	10,11
Burgonya (Desiree)	58,14	15,42	-	27,16	9,41
Paradicsom (Brillante)	70,41	9,4	-	17,16	13,57
Sütőtök (Nagydobosi)	61,08	7,17	1403,5	23,9	11,4
Sárgarépa (Vörös óriás)	71,56	7,62	1293,7	22,57	15,77
Torma (Bagaméri 93/1)	68,76	9,6	-	22,83	12,07

Megjegyzés: A konvektív módszerrel és liofilizálással szárított anyagok nedves tömege megegyező volt a mérések során.

A mérési eredmények kétség kívül alátámasztják a korábbi kutatások eredményeit, hogy a vákuum-fagyasztva szárítás energiaszükséglete és ehhez hasonlóan a szárításhoz szükséges hőmennyiség a hagyományos szárítási eljárásokhoz (konvektív, fluidágyas, forgó dobos, porlasztva szárítás) képest sokkal nagyobb értéket képvisel (*Alves-Filho és Mujumdar, 2004; Alves-Filho et al., 2006; Zhang et al., 2006*).

Ratti (2001) összehasonlító tanulmányában kimutatta, hogy a fagyasztva szárítás teljes energia-felhasználásából a szublimációra 44%-ot, a vákuum használatára 26%-ot, a kondenzációra 25%-ot, a fagyasztásra 5%-ot fordítanak. Véleménye szerint az energia-költség csökkentése a szublimációra használt hőátadás javításával, a szárítási idő visszaszorításával, a vákuum csökkentésével, és a kondenzáció elkerülésével megoldható.

4.2. A beltartalom kölcsönhatások szerinti jellemzése

A nyersanyag és a szárítmányok beltartalmi összetevőinek meghatározása a 3.4.3. pontban vázolt módszerek alkalmazásával történt. Az analitikai eredmények ismertetik, hogy a nyersanyag beltartalmi alkotóihoz képest a vízelvonási eljárások következtében milyen mértékű mennyiségi változás történt. A száradási folyamatban a beltartalmi összetevők változását a száradás befejeztével vizsgáltuk, és a változás mértékét a nyersanyag összetevőihöz viszonyítva elemeztük.

4.2.1. Gyümölcszárítmányok analitikai összehasonlítása

A nagyszámú mérési eredményekből a teljesség igénye nélkül az alma- és meggyfajták dehidrált mintáinak fontosabb analitikai adatait foglalják össze a 4.3. – 4.8. táblázatok.

4.3. táblázat. 'Naményi Jonathan' almafajta mintáinak analitikai adatai

Megnevezés	Konvekciós módszerrel szárított	Liofilizált
<i>Általános jellemzők</i>		
Nedvességtartalom [%]	8,55	6,81
Fehérje [%]	1,38	1,75
Össz. gyümölcssav [%]	2,38	2,94
Szénhidrát [%]	52,4	58,7
<i>Vitaminok</i>		
B ₁ -vitamin [mg/100g]	114,5	137,2
B ₂ -vitamin [mg/100g]	97,4	103,2
C-vitamin [mg/100g]	10,2	16,3
<i>Ásványi anyagok</i>		
Ca [mg/100g]	32,4	36,7
K [mg/100g]	622,4	652,6
Na [mg/100g]	10,7	11,4
P [mg/100g]	51,4	58,7

A 4.3. táblázatból megállapítható, hogy a konvektív szárítási eljárással szárított mintákban a beltartalmi anyagokból (fehérje 21,1%, össz. gyümölcssav 19,1%, szénhidrát 10,8%, vitaminok 19,8%, ásványi anyagok 8,8%) értékcsökkenés történt a liofilizált minták alkotóihoz képest.

4.4. táblázat. 'Idared' almafajta mintáinak analitikai adatai

Megnevezés	Nyersanyag	Konvekciós úton szárított	Liofilizált
<i>Általános jellemzők</i>			
Nedvességtartalom [%]	86,23	5,47	3,8
Aromatartalom [%]	100	5	20
Szénhidrát [%]	12,1	67,3	79,4
Szerves sav [%]	0,3	2,14	2,22
Ásványi anyag [%]	0,36	1,6	1,72
Rost [%]	2,11	24,6	27,3
<i>Flavonoidok</i>			
Össz. polifenol [mgGA/100g]*	167	2107,2	2134,3
Össz. antocián [mgCat/100g] [#]	2,4	10,7	18,4
<i>Szénhidrátok</i>			
Glükóz [g/100g]	2,2	10,4	14,3
Fruktóz [g/100g]	5,7	47,2	56,3
Szacharóz [g/100g]	2,6	10,3	12,4
Keményítő [g/100g]	0,3	2,2	3,1
Cellulóz [g/100g]	0,5	1,8	2,4
<i>Vitaminok</i>			
α-tokoferol [mg/100g]	0,53	4,17	6,21
C-vitamin [mg/100g]	13,7	3,1	10,4
B ₆ -vitamin [mg/100g]	0,52	0,27	0,42
Niacin (B ₃)-vitamin [mg/100g]	264,1	133,7	220,4
<i>Ásványi anyagok</i>			
Na [mg/100g]	4,2	22,3	27,9
K [mg/100g]	137,3	538,9	602,4
Ca [mg/100g]	7,1	37,7	44,6
Zn [mg/100g]	0,14	3,11	5,14
Fe [mg/100g]	0,72	8,41	13,2
P [mg/100g]	12,7	76,3	97,4

Megjegyzés:

[#]Cat = (+) katechin

*GA = galluszsav

A defrost folyadék tartalma (a szárított anyag kondenzált nedvességtartalma) - melyet a fagyasztva szárító kondenzátor kamrájából olvasztottam le - gyakorlatilag víz, ezek mellett nem túl jelentős mennyiségű kb. 1 % aroma (hexanol, h-metil-hexanol, hexilacetát).

A 4.4. táblázat adatai alapján megfigyelhető, hogy a konvektív szárítási eljárással szárított mintákban a beltartalmi anyagokból (szénhidrát 23,1%, szerves sav 3,6%, rost 10%, flavonoidok 21,6%, vitaminok 44,6%, ásványi anyagok 24%) értékcsökkenés történt a liofilizált minták alkotóihoz képest.

A C-vitamin tartalmat tekintve, a nyersanyaghoz viszonyítva a hagyományos úton szárított minta 77,4%-ot, a fagyasztva szárított minta pedig 24,1%-ot veszített el.

4.5. táblázat. 'Golden Delicious' almafajta mintáinak analitikai adatai

Megnevezés	Nyersanyag	Konvekciós módszerrel szárított	Liofilizált
<i>Általános jellemzők</i>			
Nedvességtartalom [%]	85,2	9,7	5,7
Fehérje [%]	0,43	1,07	1,54
Szénhidrát [%]	11,3	35,7	43,6
Hamu [%]	0,32	1,1	1,3
Rost [%]	2,4	8,71	10,2
Pektin [g/100g]	0,827	1,714	2,327
Fruktóz [g/100g]	5,78	18,31	23,62
<i>Flavonoidok</i>			
Teljes-polifenol [mg/100g]*	1227,1	1033,2	1152,1
Procianidin [mg/100g]	70,1	52,4	94,3
(+) katechin [mg/100g]	15,1	10,7	12,3
(-) katechin [mg/100g]	6,8	4,1	5,6
<i>Gyümölcssavak</i>			
Szerves sav [%]	0,35	0,73	1,1
Almasav [mg/100g]	290,1	232,4	377,1
Citromsav [mg/100g]	16,3	10,4	20,6
Klorogénsav [mg/100g]	38,4	21,7	52,4
<i>Vitaminok</i>			
C-vitamin [mg/100g]	8,2	2,4	5,9
α -tokoferol [mg/100g]	0,27	0,41	0,53
<i>Ásványi anyagok</i>			
K [mg/100g]	136,2	238,4	337,5
P [mg/100g]	12,4	23,1	32,8

Megjegyzés:

*galluszsav ekvivalensben kifejezve

A nyersanyag minden esetben héjjal együtt volt vizsgálva.

A 4.5. táblázatból megállapítható, hogy a konvektív szárítási eljárással szárított mintákban a beltartalmi anyagokból (fehérje 30,5%, szénhidrát 18,2%, hamu 15,4%, rost 14,6%, flavonoidok 23,7%, gyümölcssavak 45%, vitaminok 41%, ásványi anyagok 29,5%) értékcsökkenés történt a liofilizált minták alkotóihoz képest.

A hőérzékeny C-vitamin tartalmat tekintve, a nyersanyaghoz viszonyítva a hagyományos úton szárított minta 70,8%-ot, a fagyasztva szárított minta pedig 28,1%-ot veszített el.

4.6. táblázat. 'Újfehértói fürtös' meggyfajta mintáinak analitikai eredményei

Megnevezés	Nyersanyag	Konvekciós módszerrel szárított	Liofilizált
<i>Általános jellemzők</i>			
Nedvességtartalom [%]	82,14	6,3	6,8
Szerves sav [%]	1,85	2,7	4,1
Szénhidrát [%]	11,3	35,4	40,6
<i>Flavonoidok</i>			
Össz. polifenol [mg/100g]*	803,6	1260,7	2749,8
Össz. antocián [mg/100g] [#]	70,2	195,6	317,8
<i>Vitamin</i>			
C-vitamin [mg/100g]	15,4	3,1	10,6

Megjegyzés:

* galluszsav ekvivalensben kifejezve,

[#] cianidin-3-0-glükózidban kifejezve

A 4.6. táblázatból látható, hogy a konvektív szárítási eljárással szárított mintákban a beltartalmi anyagokból (szerves sav 34,2%, szénhidrát 12,8%, flavonoidok 46,4%, vitamin 70,7%) értékcsökkenés történt a liofilizált minták alkotóihoz képest.

A hőérzékeny C-vitamin tartalmat tekintve, a nyersanyaghoz viszonyítva a hagyományos úton szárított minta 79,8%-ot, a fagyasztva szárított minta pedig 31,1%-ot veszített el.

4.7. táblázat. 'Kántorjánosi 3' meggyfajta mintáinak analitikai eredményei

Megnevezés	Nyersanyag	Konvekciós módszerrel szárított	Liofilizált
<i>Általános jellemzők</i>			
Nedvességtartalom [%]	78,14	9,31	6,42
Szerves sav [%]	1,77	2,9	3,3
Szénhidrát [%]	10,8	31,1	36,8
<i>Flavonoidok</i>			
Össz. polifenol [mg/100g]*	577,3	979,8	2420,1
Össz. antocián [mg/100g] [#]	53,1	149,5	262,7
<i>Vitamin</i>			
C-vitamin [mg/100g]	12,1	2,6	8,9

Megjegyzés:

* galluszsav ekvivalensben kifejezve,

[#] cianidin-3-0-glükózidban kifejezve.

A 4.7. táblázatból megállapítható, hogy a konvektív szárítási eljárással szárított mintákban a beltartalmi anyagokból (szerves sav 12,2%, szénhidrát 15,5%, flavonoidok 51,4%, vitamin 70,8%) értékcsökkenés történt a liofilizált minták alkotóihoz képest.

A hőérzékeny C-vitamin tartalmat tekintve, a nyersanyaghoz viszonyítva a hagyományos úton szárított minta 78,5%-ot, a fagyasztva szárított minta pedig 26,5%-ot veszített el.

4.8. táblázat. 'Cigánymeggy' meggyfajta mintáinak analitikai eredményei

Megnevezés	Nyersanyag	Konvektív módszerrel szárított	Liofilizált
<i>Általános jellemzők</i>			
Nedvességtartalom [%]	80,1	8	8,04
Szénhidrát [%]	7,22	2,7	5,34
Hamu [%]	0,412	0,4	0,41
Szerves sav [%]	1,63	0,7	1,02
Fehérje [%]	0,762	0,16	0,51
<i>Vitaminok</i>			
B ₁ -vitamin [mg/100g]	3,7	0,8	2,14
B ₂ -vitamin [mg/100g]	4,9	1,4	3,26
C-vitamin [mg/100g]	10,2	1,2	7,04
<i>Ásványi anyagok</i>			
Ca [mg/100g]	6,2	5,1	5,9
Fe [mg/100g]	0,52	0,23	0,51
K [mg/100g]	104,1	56,2	103,5
Na [mg/100g]	132	74,8	129
Mg [mg/100g]	6,4	3,12	6,2

A 4.8. táblázatból látható, hogy a konvektív szárítási eljárással szárított mintákban a beltartalmi anyagokból (szénhidrát 49,4%, szerves sav 31,4%, fehérje 68,5%, vitaminok 67,5%, ásványi anyagok 41,2%) értékcsökkenés történt a liofilizált minták alkotóihoz képest.

A hőérzékeny C-vitamin tartalmat tekintve, a nyersanyaghoz viszonyítva a hagyományos úton szárított minta 88,3%-ot, a fagyasztva szárított minta pedig 30,9%-ot veszített el.

4.2.2. Zöldségszáritmányok analitikai összehasonlítása

A szárított zöldségfélék kémiai alkotóinak eredményeit a nyersanyag alkotóihoz viszonyítva a 4.9. – 4.12. táblázatok adják meg.

4.9. táblázat. 'Desiree' burgonyafajta minták analitikai adatai

Megnevezés	Nyersanyag	Konvekciós módszerrel szárított	Liofilizált
<i>Általános jellemzők</i>			
Nedvességtartalom [%]	75,2	4,6	3,3
Fehérje [%]	1,3	0,7	1,2
Keményítő [%]	14,3	15,4	19,5
Red. cukortartalom [%]	0,65	0,4	0,5
Ásványi anyag tartalom [%]	1,3-1,4	0,8	1,1
<i>Vitamin</i>			
C-vitamin [mg/100g]	11,2	2,3	7,8
<i>Ásványi anyagok</i>			
Mg [mg/100g]	34,2	12,4	26,5
Ca [mg/100g]	120	78	94
B [mg/100g]	22	9,5	16,4
N [%]	0,8	0,3	0,49

A 4.9. táblázatból megfigyelhető, hogy a konvektív szárítási eljárással szárított mintákban a beltartalmi anyagokból (fehérje 41,7%, keményítő 21%, redukált cukortartalom 20%, vitamin 70,5%, ásványi anyagok 37,85%) értékcsökkenés történt a liofilizált minták alkotóihoz képest.

A hőérzékeny C-vitamin tartalmat tekintve, a nyersanyaghoz viszonyítva a hagyományos úton szárított minta 79,5%-ot, a fagyasztva szárított minta pedig 30,3%-ot veszített el.

4.10. táblázat. 'Brillante' paradicsomfajta minták analitikai eredményei

Megnevezés	Nyersanyag	Konvekciós módszerrel szárított	Liofilizált
<i>Általános jellemzők</i>			
Nedvességtartalom [%]	93,4	9,9	8,8
Fehérje [%]	7,2	5,4	6,3
Zsír [%]	1,1	1,2	1,7
<i>Karotinoid</i>			
β -karotin [mg/100g]	3,1	2,8	3,3
<i>Vitaminok</i>			
C-vitamin [mg/100g]	135	67,2	118,5
B ₁ vitamin [mg/100g]	0,64	0,22	0,51
B ₆ vitamin [mg/100g]	0,98	0,52	0,71
<i>Ásványi anyagok</i>			
Ca [mg/100g]	79,3	67,4	69,3
P [mg/100g]	134,1	117,4	123,5
Mg [mg/100g]	122,2	110,4	114,6
Na [mg/100g]	34,7	19,4	22,3
K [mg/100g]	1657	1122,5	1211,4

A 4.10. táblázatból megállapítható, hogy a konvektív szárítási eljárással szárított mintákban a beltartalmi anyagokból (fehérje 14,3%, zsír 29,4%, karotinoid 15,14%, vitaminok 42,2%, ásványi anyagok 6,4%) értékcsökkenés történt a liofilizált minták alkotóihoz képest.

A C-vitamin tartalmat tekintve, a nyersanyaghoz viszonyítva a hagyományos úton szárított minta 50,3%-ot, a fagyasztva szárított minta pedig 12,3%-ot veszített el.

4.11. táblázat. Liofilizált 'Nagydobosi' sütőtökfajta minták kémiai összetétele

Megnevezés	Liofilizált	
	Üzem	Laboratórium
<i>Általános adatok</i>		
Nedvességtartalom [%]	1,2	3,8
Fehérje [%]	8,8	8,2
Zsír [%]	2,8	2,71
Szénhidrát [%]	70,3	62,9
Rost [%]	8,4	7,3
Hamu [%]	3	2,6
<i>Karotinoidok</i>		
Totál karotin [mg/100g]	30,1	25,4
β-karotin [mg/100g]	26,2	20,3
Kriptoxantin [mg/100g]	2,1	1,3
<i>Szénhidrátok</i>		
Glukóz [g/100g]	22,2	20,7
Fruktóz [g/100g]	23,3	21,9
Szacharóz [g/100g]	25,4	20,8
<i>Vitaminok</i>		
Nikotinamid [mg/100g]	8,5	6,2
C-vitamin [mg/100g]	77,6	52,1
<i>Ásványi anyagok</i>		
Na [mg/100g]	40,2	33,2
K [mg/100g]	1123,6	1071,3
Ca [mg/100g]	127,4	123,5
Fe [mg/100g]	2,9	2,8
P [mg/100g]	330,5	314,3
<i>Egyéb adatok</i>		
Rost, oldható [mg/100g]	0,78	0,57
Rost, nem oldható [mg/100g]	7,83	6,7
Glutation [mg/100g]	26,2	14,7

A 4.11. táblázatból látható, hogy a laboratóriumban liofilizált mintákban a beltartalmi anyagokból (fehérje 6,8%, zsír 3,2%, rost 13,1%, hamu 13,33%, karotinoidok 25,4%,

szénhidrátok 10,4%, vitaminok 30%, ásványi anyagok 6,72%) értékcsökkenés történt az üzemben liofilizált minták alkotóihoz képest.

4.12. táblázat. 'Vörös óriás' sárgarépa fajta minták kémiai összetétele

Megnevezés	Nyersanyag	Liofilizált	
		Üzem	Laboratórium
Általános jellemzők			
Nedvességtartalom [%]	84,9	3,4	6,17
Fehérje [%]	0,83	4,3	4,11
Zsír [%]	0,15	1,0	1,16
Szénhidrát [%]	4,82	18,7	17,81
Teljes rost [%]	1,82	36,3	38,27
Szerves sav [%]	0,22	0,98	1,17
Hamu [%]	0,81	4,9	4,62
Karotinoid			
β-karotin [mg/100g]	11,42	46,329	45,6
Vitaminok			
B ₁ -vitamin [mg/100g]	0,074	0,23	0,22
B ₂ -vitamin [mg/100g]	0,081	0,24	0,21
Nikotinamid [mg/100g]	0,68	3,02	2,79
B ₆ -vitamin [mg/100g]	0,33	1,84	1,3
C-vitamin [mg/100g]	7,16	26,3	23,7
Ásványi anyagok-szétbontva			
Na [mg/100g]	64,3	422,5	412,4
K [mg/100g]	335,3	2744	2627,5
Ca [mg/100g]	44,3	317,8	307,3
Fe [mg/100g]	2,11	14,5	13,7
P [mg/100g]	38,4	263,2	249,8
Na [mg/100g]	64,3	422,5	410,5
Mg [mg/100g]	18,4	132,3	132,1
Cu [mg/100g]	0,05	0,33	0,31

A 4.12. táblázatból megállapítható, hogy a laboratóriumban liofilizált mintákban a beltartalmi anyagokból (fehérje 4,5%, szénhidrát 4,75%, karotinoid 1,6%, vitaminok 12,72%, ásványi anyagok 3,74%) értékcsökkenés történt az üzemben liofilizált minták alkotóihoz képest.

Viszont más kémiai összetevőkből (zsír 13,8%, rost 5,14%, szerves sav 16,2%-kal) több mennyiséget megtartottak a laboratóriumban vákuum fagyasztott minták, mint az üzemi méretben liofilizált anyagok.

Az eredmények összevetése érdekében a továbbiakban a kutatók gyümölcs- és zöldségszáritmányokkal végzett beltartalmi vizsgálatainak eredményeit összegzem.

Kar et al. (2003) beltartalmi vizsgálatokkal kimutatták, hogy a vákuum-fagyasztva szárítással tartható meg legtöbb alkotó, a mikrohullámú, konvektív-, és két módszer kombinálásával szárított terményekhez képest. A liofilizálással a redukált cukortartalom 93 %-át, szénhidrát-tartalom 81%-át megőrizte a nyersanyaghoz viszonyítva.

Clark (2004) vizsgálta különböző szárítási módszerekkel dehidrált sárgarépa karotinoid-tartalmát. β -karotin esetében a nyersanyaghoz viszonyítva a liofilizált mintában 5 %, a konvektív módszerrel szárított anyagban pedig 57%-os csökkenést mutatott ki. A totál karotin-tartalom veszteség fagyasztva szárított mintánál 4%-os, konvektív szárítási módszernél 56%-os volt.

Chang et al. (2006) többek között liofilizált és konvektív módszerrel szárított paradicsom C-vitamin-tartalmát határozták meg. Kimutatták, hogy liofilizált mintában a nyersanyaghoz képest 10%-os, míg a konvektív módszerrel száradt paradicsomban 61%-os értékcsökkenés volt.

Marangoni és Collares (2006) inkagumópor (*Polymnia sonchifolia*) porlasztva és fagyasztva szárítását végezték el. Arra a megállapításra jutottak, hogy fehérje-, hamu-, szénhidrát-tartalomban (glukóz, fruktóz, szacharóz) a liofilizált anyag több beltartalmi alkotót megtartott a porlasztva szárított anyaghoz képest.

Hii et al. (2009) kakaóbab (*Theobroma cacao* L.) szárítását végezték el napon, konvektív- és fagyasztva szárítással. Megállapították, hogy a liofilizált minták mutatták a legnagyobb mennyiségben teljes-polifenol, (-) epikatechin és (+) katechin tartalmat. A legnagyobb eltérést a teljes-polifenol tartalomban mérték a többi szárítási eljárással dehidrált anyagokhoz képest.

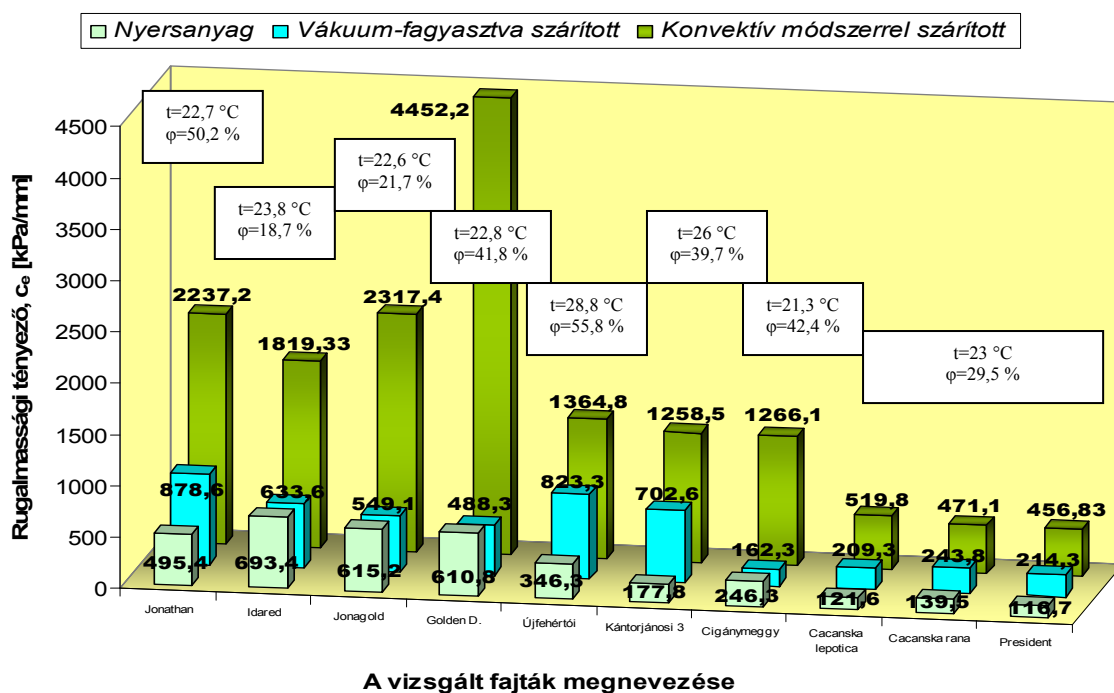
4.3. Penetrációs vizsgálatok

4.3.1. A dehidrált gyümölcs- és zöldségminták felületi szilárdságának vizsgálata

A gyümölcs- és zöldségszárítmányok felületi szilárdságát a 3.4.4. fejezetben bemutatásra került MGA-1091 típusú elektronikus penetrométerrel vizsgáltam. A vizsgálat célja az volt, hogy vízelvonás következtében a szárított termékek felületén kialakuló kemény réteg ellenállását meghatározzam, és összehasonlítás alapját képezzem a nyersanyag felületi szilárdságával.

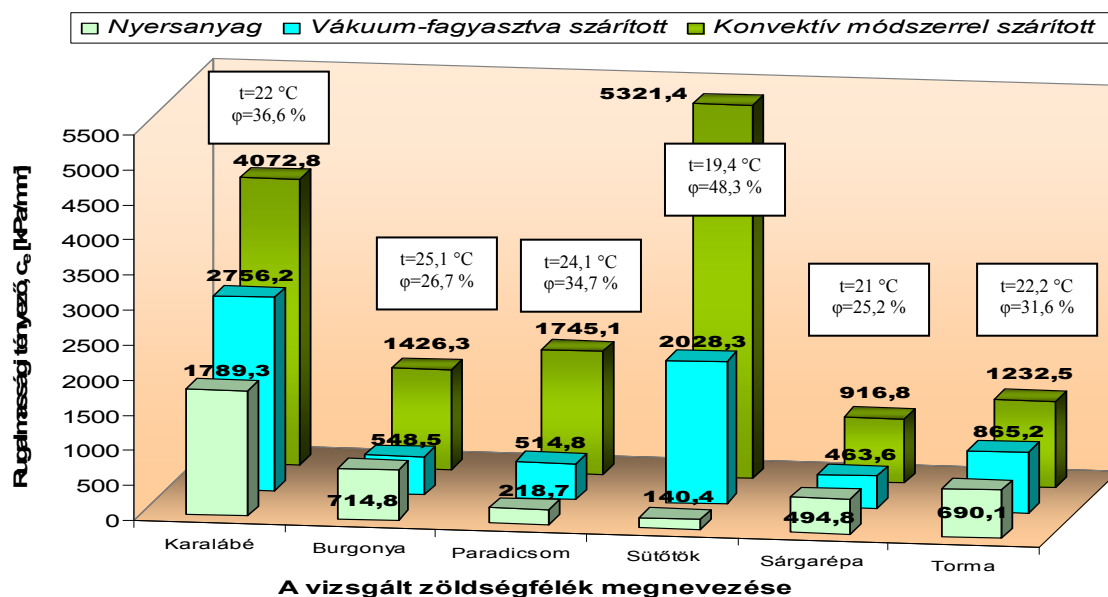
A 4.15 – 4.16. ábrákon mutatom be a nyersanyag és a szárított kertészeti termékek felületi szilárdságának adatait. A diagramban feltüntetett adatok átlagértékek, mivel az adott napon egy mintát többször megmértem a szélétől a termék közepe felé haladva.

A gyümölcsök esetében a következő növényi részek kerültek vizsgálatra: az almafajtáknál a húst mértem, mert a szárításuk héj nélkül történt. A meggy- és szilvafajták felületi keménységét pedig a héjnál határoztam meg.



4.15. ábra. A szárított gyümölcsök felületi keménységének összehasonlítása a nyersanyag felületi keménységével

A szárított zöldségfélék felületi keménységét minden esetben a húsnál mértem, kivételt képezett ebben a paradicsom, ennél a zöldségfélénél mindkét részt, a termék húását is és a héját is bevontam a mérési sorozatba.



4.16. ábra. A szárított zöldségek keménységének összehasonlítása a nyersanyag felületi keménységével

A vizsgálatokat közvetlenül a szárítás folyamata után végeztem el, ennek oka, hogy a dehidrált anyagok a tárolás során nedvességet vesznek fel a környezettől. Ennek a ténynek figyelembe vételével viszonylag pontosan meg tudtam határozni a szárítmányok felületi keménységét. A mérés időpontjában a tárolóhely aktuális hőmérséklete és a relatív nedvességtartalma a diagramban az oszlopok fölött feltüntetésre került.

Az ábrából látható, hogy a liofilizált termékek a nyersanyag felületi keménységéhez képest nem mutatnak szignifikáns különbséget (kivéve sütőtök, paradicsom, meggy). A hagyományos módszerrel szárított anyagok felülete viszont jóval keményebbnek bizonyult a liofilizált anyagok felületénél. A liofilizált termékek könnyen összenyomhatóak, nem alakul ki kemény fedőréteg, és a nyomás hatására a szivacshoz hasonlóan viselkednek (rugalmasság).

A konvektív szárítási eljárással dehidrált termékek a nyers állapotukhoz képest nagyságrendekkel nagyobb felületi keménységgel rendelkeznek. Kivétel nélkül minden esetben kemény, szilárd fedőréteg alakult ki a melegelevegővel hőkezelt anyagok felületén.

Krokida és Philippopoulos (2004) almaszáritmányok szilárdságát vizsgálták. Kimutatták, hogy a vákuum-fagyasztva szárított minták rugalmasabbnak bizonyultak a konvektív módszerrel szárítottakhoz képest. Ezen kívül megállapították, hogy a liofilizált alma nyomófeszültsége kisebb értéket mutatott a hagyományos szárítási eljárással dehidrált almamintákhoz képest.

Vadivambal és Jayas (2007) a szárított sárgarépa és hagyma hűskeménységét vizsgálták nyírófeszültség mérésére alkalmas műszerrel. Arra az eredményre jutottak, hogy fagyasztva szárított anyagok kisebb értékű nyírófeszültséggel rendelkeztek, mint a konvektív és a mikrohullámú-vákuum szárítással vízelvont anyagok. Mikrohullámú-vákuum szárított sárgarépa esetében 50%-kal, a konvektív módszerrel szárított sárgarépánál 70%-kal nagyobb nyírófeszültség értéket kaptak a liofilizált sárgarépához képest.

Emam-Djomeh et al. (2008) keménységmérési eredményei is megerősítik, hogy a liofilizált szamócamintáknak volt a legkisebb felületi ellenállásuk viszonyítva más szárítási eljárásokhoz, pl. konvektív, mikrohullámú, ozmózis mikrohullámú, ozmózis konvektív.

Shamaei és Emam-Djomeh (2008) megállapították, hogy a konvektív módszerrel szárított gomba rendelkezett a legnagyobb felületi szilárdsággal, összehasonlítva a mikrohullámú-konvektív-, illetve a vákuumszárt gomba keménységével.

4.3.2. A tárolás alatt bekövetkező állományváltozások a szárítmányokban

A szárított minták szobahőmérsékleten voltak tárolva a Jármű- és Mezőgazdasági Géptani Tanszék laboratóriumában, miközben a keménységét mértem. A helyiségben a hőmérséklet 18-25 °C, a levegő relatív páratartalma pedig 18-59% között ingadozott, azaz a szobahőmérsékleten történő tárolást imitáltam.

A penetrációs vizsgálatokat 2-7 héten keresztül, naponta többször (három alkalommal) elvégeztem a szárítmányokon, minden mintát meghatározott pontokon mértem, melyeket beszámoltam, a pontos mérési eredmények miatt.

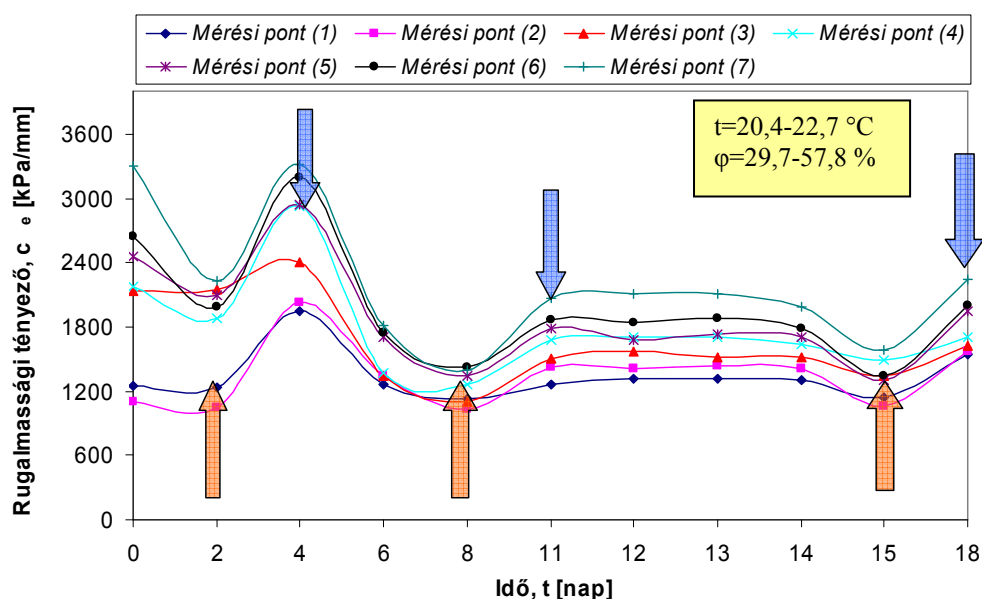
A nedvességfelvétel és –leadás folyamatainak nyomon követése érdekében a diagramokban nyíl jelzi a környezet relatív páratartalmának változását, melyet a TESTO 4510 típusú készülék relatív páratartalom-mérőjével mértem a mérési napokon.

A kék nyíl a környezet relatív páratartalmának csökkenését mutatja, a narancssárga nyíl pedig a környezet relatív páratartalmának emelkedését az adott mérési napon.

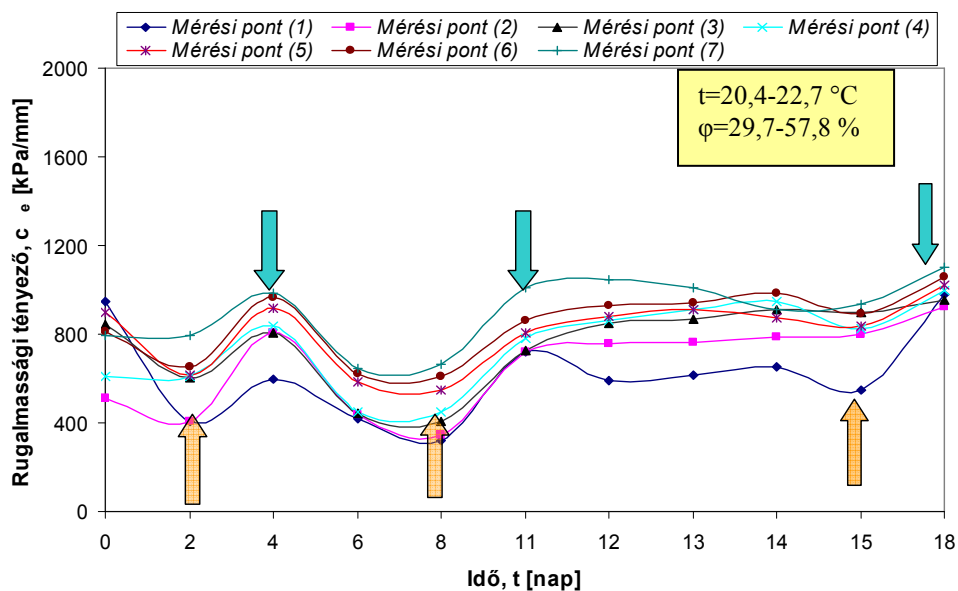
4.3.2.1. A gyümölcszárítmányok állományváltozása a tárolás alatt

Az általam vizsgált kétféle szárítási eljárással dehidrált alma-, meggy- és szilvafajták mintáinak felületi keménységének változását figyelhetjük meg a tárolási idő függvényében a 4.17.-4.22. ábrákon és a 12. mellékletben.

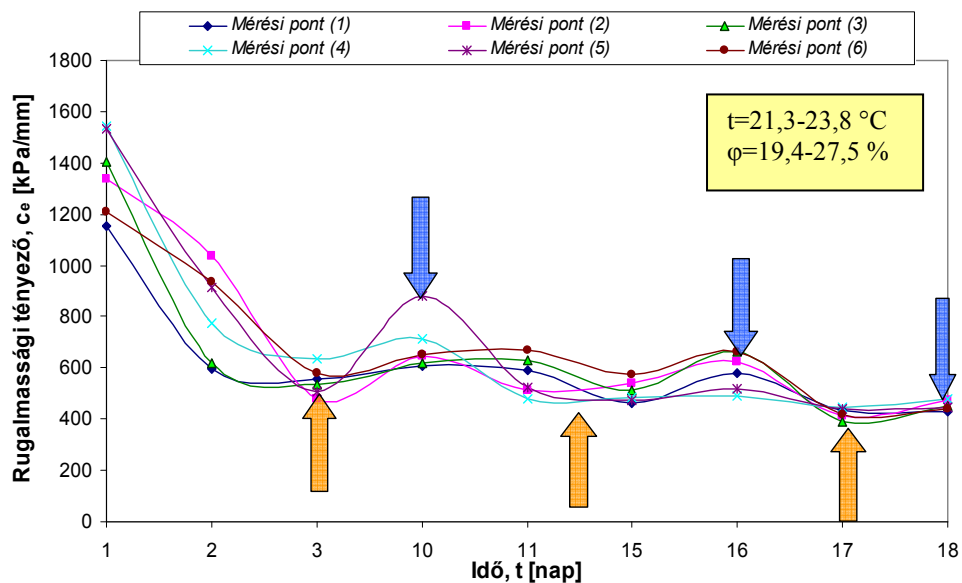
A vizsgált szárított gyümölcsfélék tárolása alatt a helység paramétereit – hőmérsékletet és relatív páratartalmat – a diagramokon feltüntettem.



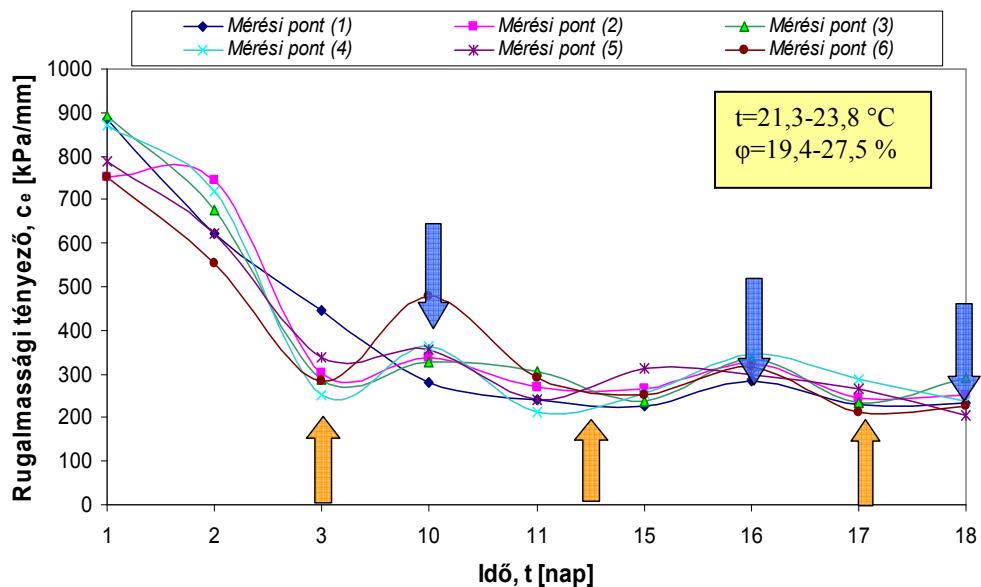
4.17. ábra. Konvekciós módszerrel szárított 'Naményi Jonathan' almafajta minták felületi keménységének változása a tárolási idő függvényében



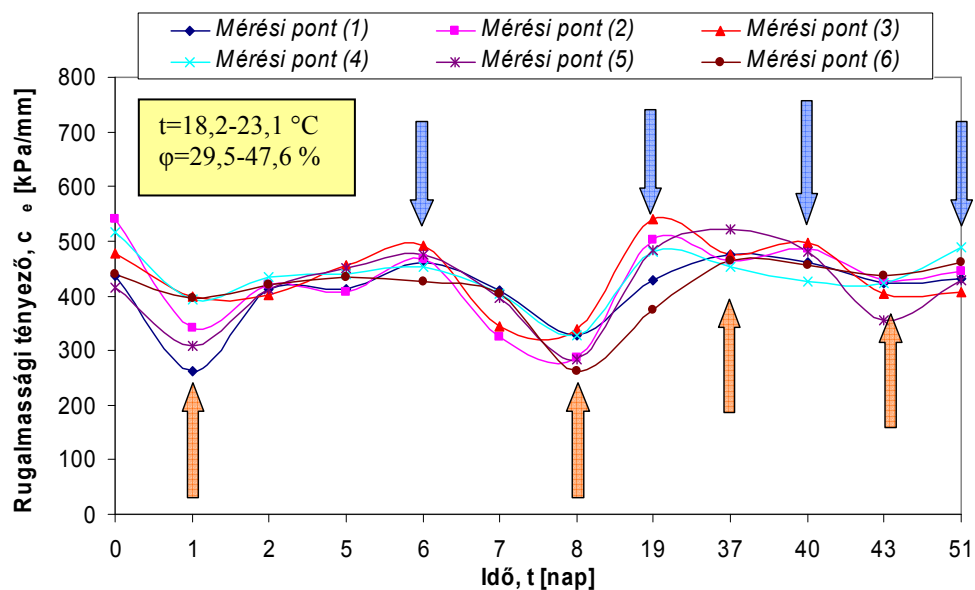
4.18. ábra. Liofilizált 'Naményi Jonathan' almafajta minták felületi keménységének változása a tárolási idő függvényében



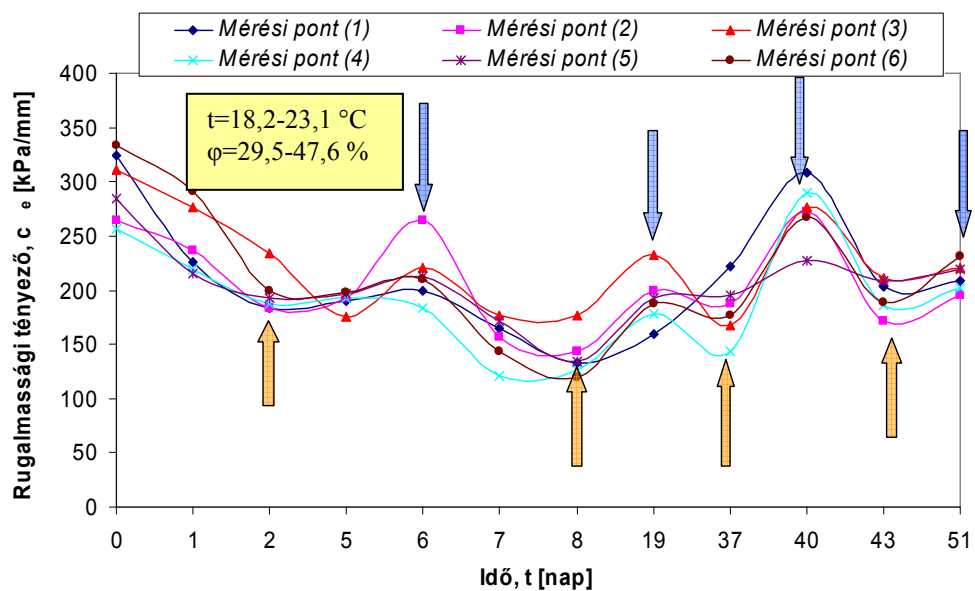
4.19. ábra. Konvekciós módszerrel szárított 'Újfehértói fűrtös' meggyfajta minták felületi keménységének változása a tárolási idő függvényében



4.20. ábra. Liofilizált 'Újfehértói fűrtös' meggyfajta minták felületi keménységének változása a tárolási idő függvényében



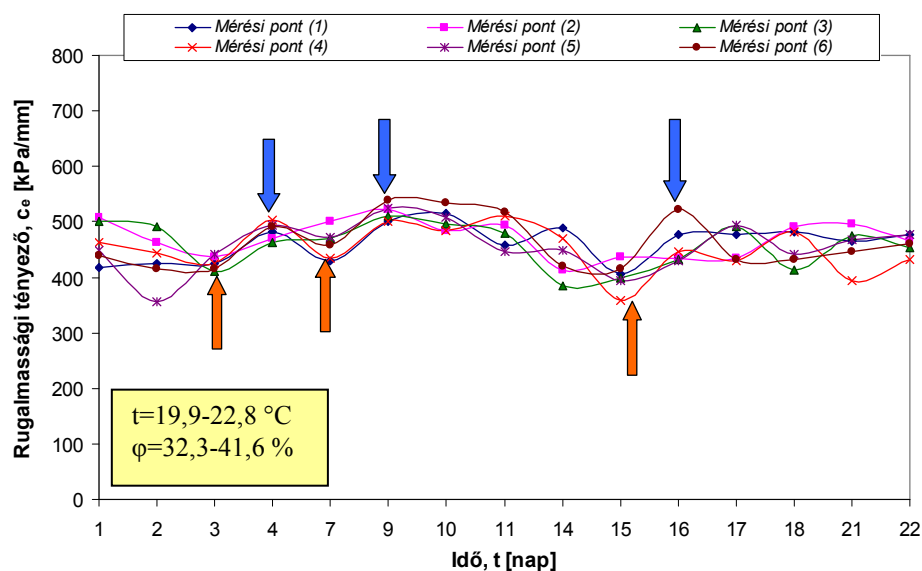
4.21. ábra. Konvektív dehidrációs eljárással szárított 'Cacanska rana' szilvafajta minták felületi keménységének változása a tárolási idő függvényében



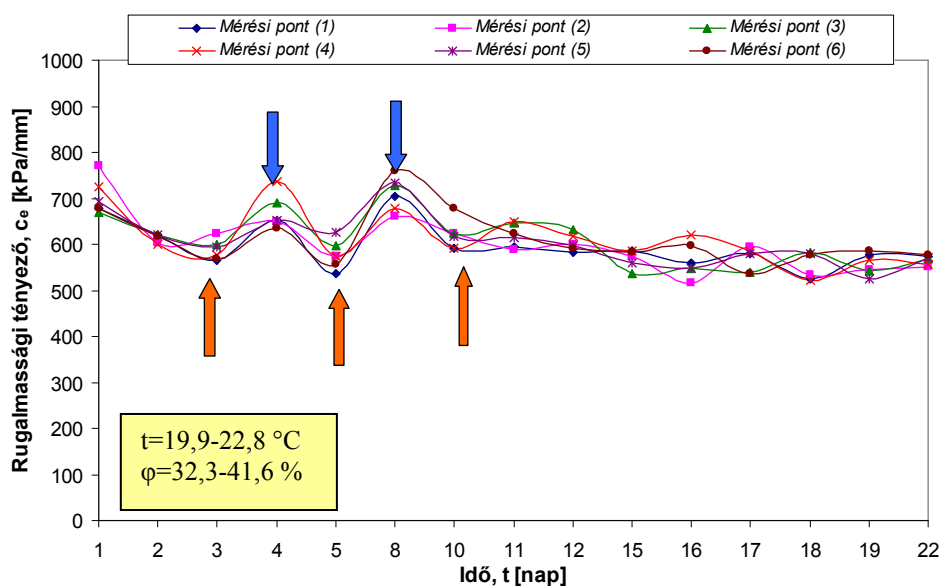
4.22. ábra. Liofilizált 'Cacanska rana' szilvafajta minták felületi keménységének változása a tárolási idő függvényében

4.3.2.2. A zöldségszárítmányok állományváltozása a tárolás alatt

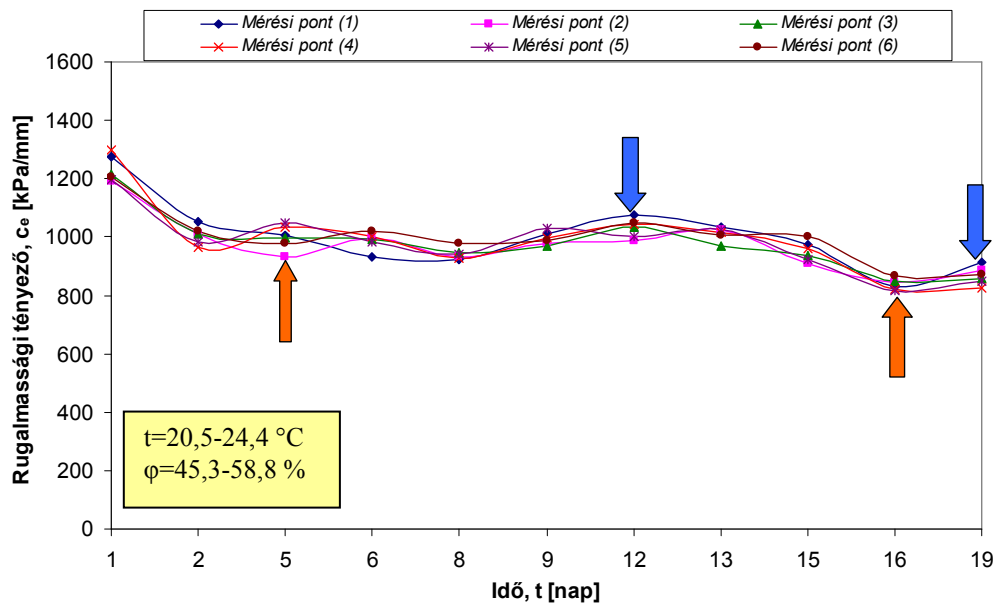
Az általam vizsgált kétféle szárítási eljárással dehidrált zöldségfélék felületi keménységének változását figyelhetjük meg a tárolási idő függvényében a 4.23.-4.26. ábrákon, illetve a 13. mellékletben. A vizsgált szárított zöldségfélék tárolása alatt a helyiség paramétereit – hőmérsékletet és relatív páratartalmat – a diagramokon feltüntettem.



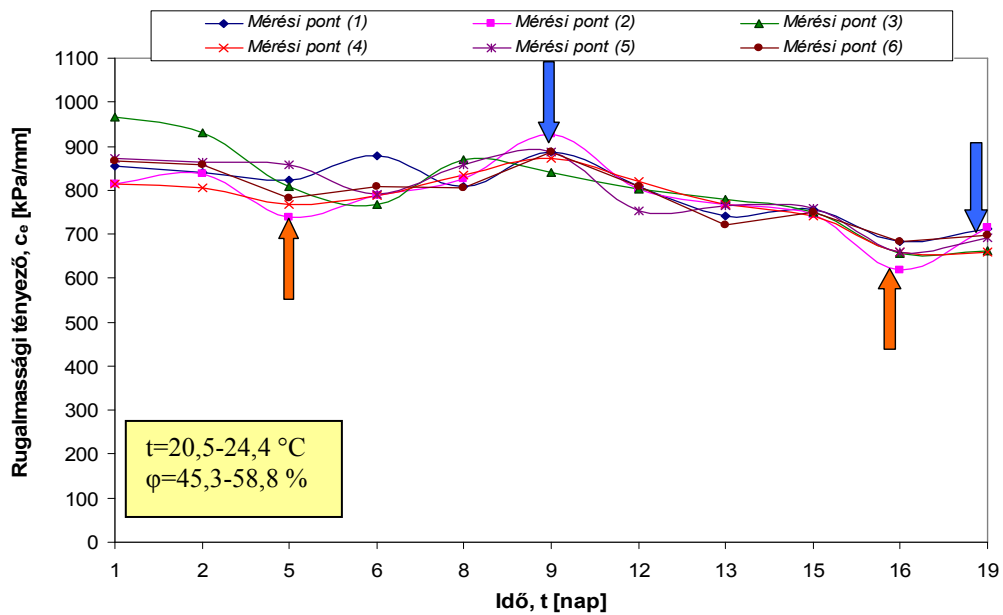
4.23. ábra. Laborban liofilizált 'Vörös óriás' sárgarépa fajta minták felületi keménységének változása a tárolási idő függvényében



4.24. ábra. Üzemben liofilizált 'Vörös óriás' sárgarépa fajta minták felületi keménységének változása a tárolási idő függvényében



4.25. ábra. Konvekciós módszerrel szárított 'Bagaméri 93/1' torma fajta minták felületi keménységének változása a tárolási idő függvényében



4.26. ábra. Liofilizált 'Bagaméri 93/1' torma fajta minták felületi keménységének változása a tárolási idő függvényében

Az előbbi ábrákon jól megfigyelhető, hogy a szárítmány felületi keménysége a tárolás folyamata alatt hullámos függvénylefutással jellemezhető. Vagyis a dehidrált anyagok felületi keménysége változik a környezet relatív nedvességtartalmának hatására. Ha a környezet relatív páratartalma csökken, akkor a termék felületéről nedvesség kerül a környezetbe, ennek hatására a termék felülete keményedik. A másik esetben ellenkező irányú folyamat befolyásolja a termék felületi szilárdságát, ugyanis ha a környezet relatív páratartalma növekszik, akkor a tárolt termék nedvességet vesz fel, és ezáltal a felületi keménysége csökken.

A diagramokból ezen kívül az is jól látszik, hogy a dehidrált gyümölcs- és zöldségminták gyorsan kémiai reakcióba lépnek a tárolóhely légterének nedvességtartalmával, különösen jellemző ez a liofilizált anyagokra. Ha a maradék nedvességtartalom által megszabott egyensúlyi nedvességtartalom alacsonyabb a tárolóhely relatív nedvességtartalmánál, akkor nemkívánatos visszanedvesítés jön létre.

4.4. Texturális visszanedvesedési vizsgálatok

4.4.1. Dehidrált termékek visszanedvesedési képességének vizsgálata

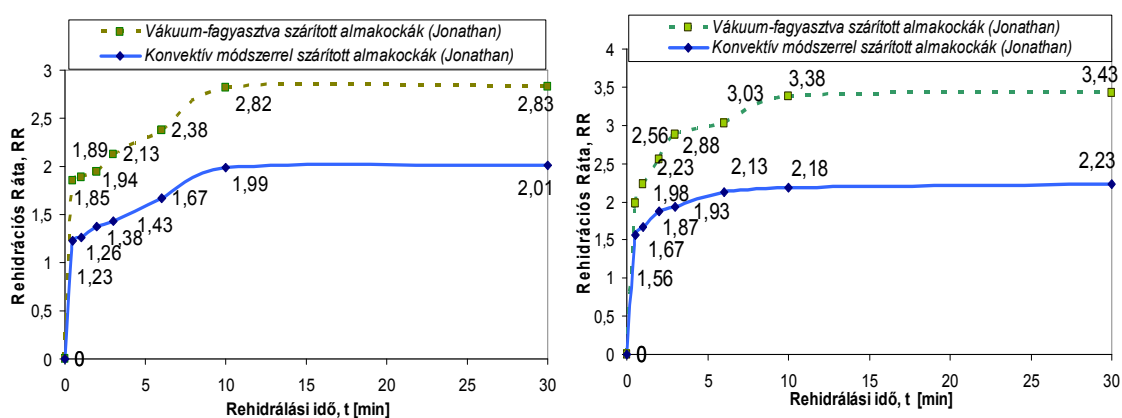
A szárított gyümölcsök és zöldségek vízfelvevő aktivitásának eredményeit a 4.27. - 4.38. ábrákon tudjuk nyomon követni. A diagramokon a görbékre írt számok mutatják az adott szárítmányra jellemző rehidrációs rátát (RR). Meghatározása a 2.3.3. fejezetben leírtak szerint történt.

4.4.1.1. Dehidrált gyümölcsök visszanedvesedési képességének vizsgálata

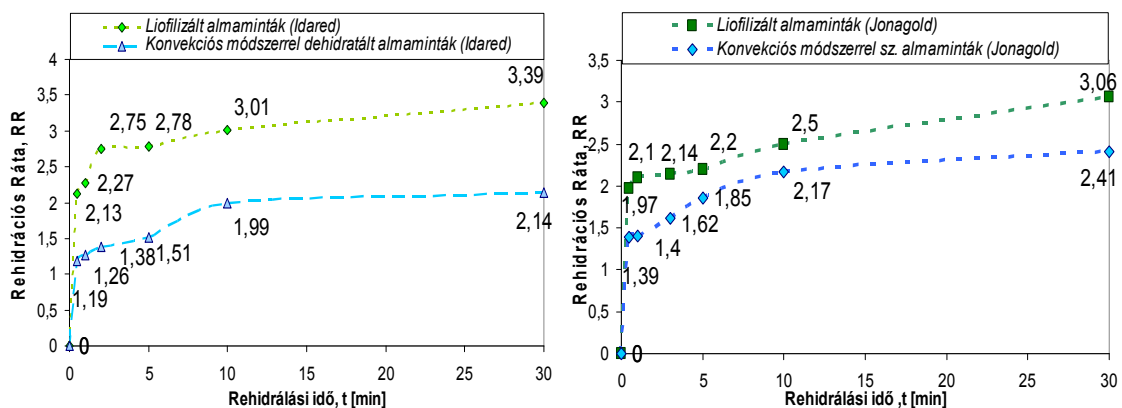
Az ábrákból kiolvasható, hogy a szárított gyümölcs vízfelvétele a rehidrációs folyamat kezdetén, 0-10 perc között hirtelen megugrik, ez különösen a liofilizált anyagokra jellemző. A tapasztalat azt mutatja, hogy 10-15 perc után gyakorlatilag a szárított gyümölcsök rehidrációja befejeződik, konstans értéket vesznek fel, tehát telítődnek.

Az ábrákból az is kitűnik, hogy a liofilizált termékek minden esetben több vizet szívtak magukba, és a nedvességfelvétel gyorsan lezárult. Mindez azt mutatja, hogy a fagyasztva szárított termékek gyorsan megkötik a vizet. Ezalatt a konvekciós eljárással dehidrált termékek lassú vízfelvétele történik, mely a rehidrációs idő elnyújtásával sem tud annyi vizet felszívni, mint a liofilizált anyag.

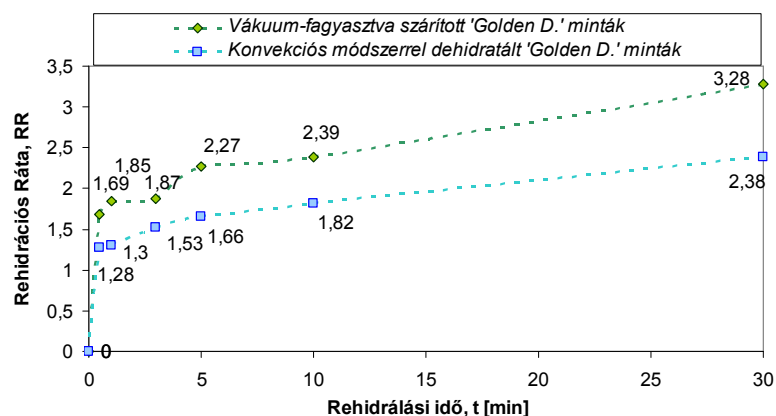
Továbbá azt is megfigyelhetjük a diagramokon, hogy a nedvesítő közeg hőmérsékletének emelkedésével a rehidrációs ráta értéke is növekszik.



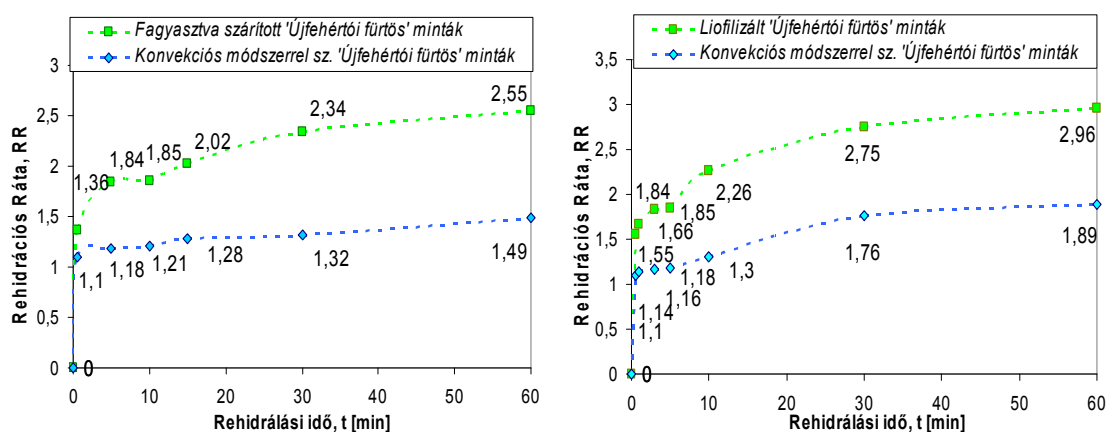
4.27. ábra. Konvektív módszerrel szárított és liofilizált 'Naményi Jonathan' almafajta minták rehidrációja 35 és 75 °C-on



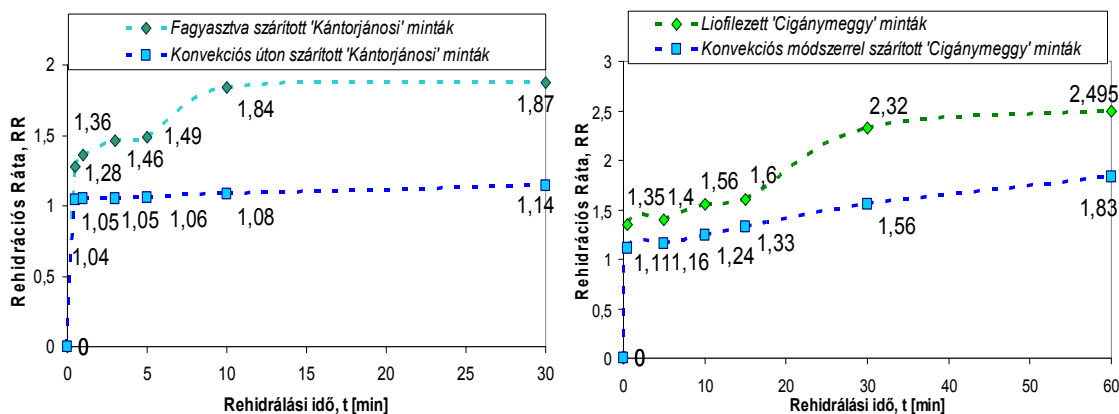
4.28. ábra. Konvektív módszerrel szárított és liofilizált 'Idared' és 'Jonagold' almaminták rehidrációja 35 °C-on



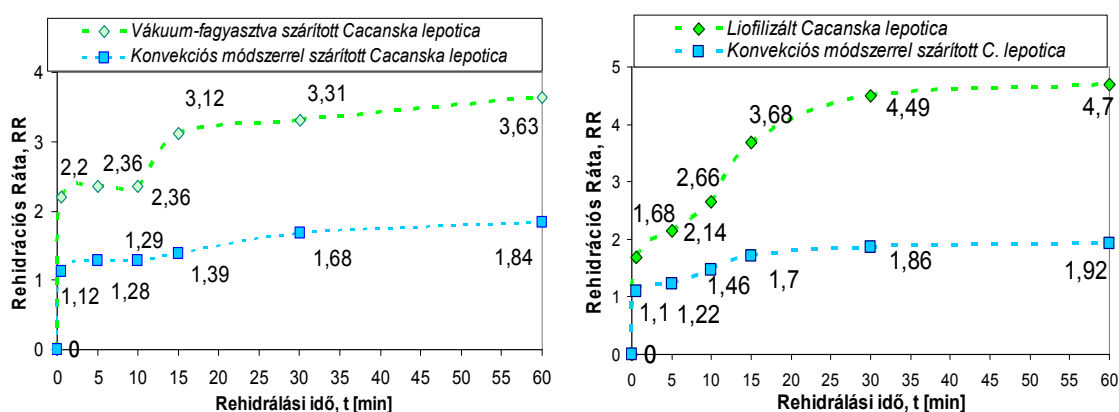
4.29. ábra. Konvektív módszerrel szárított és liofilizált 'Golden Delicious' almafajta minták rehidrációja 35 °C-on



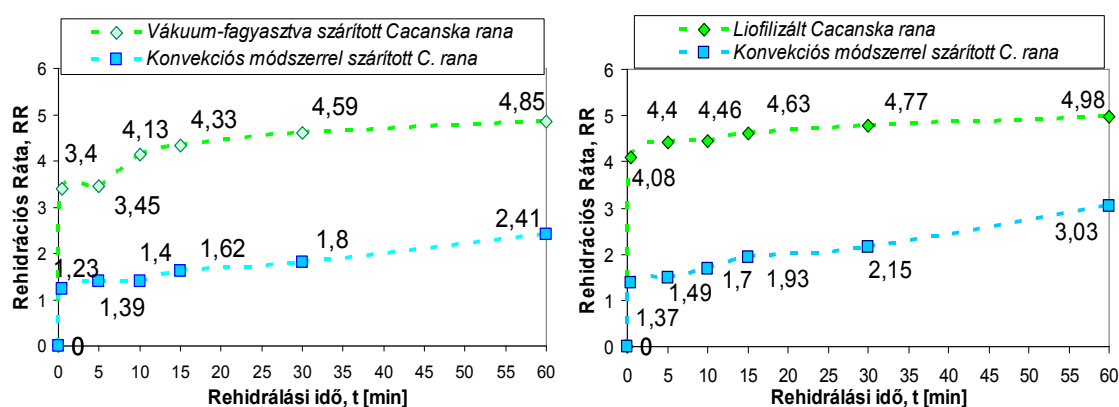
4.30. ábra. Konvektív módszerrel szárított és liofilizált 'Újfehértói fürtös' meggyfajta minták rehidrációja 35 és 75 °C-on



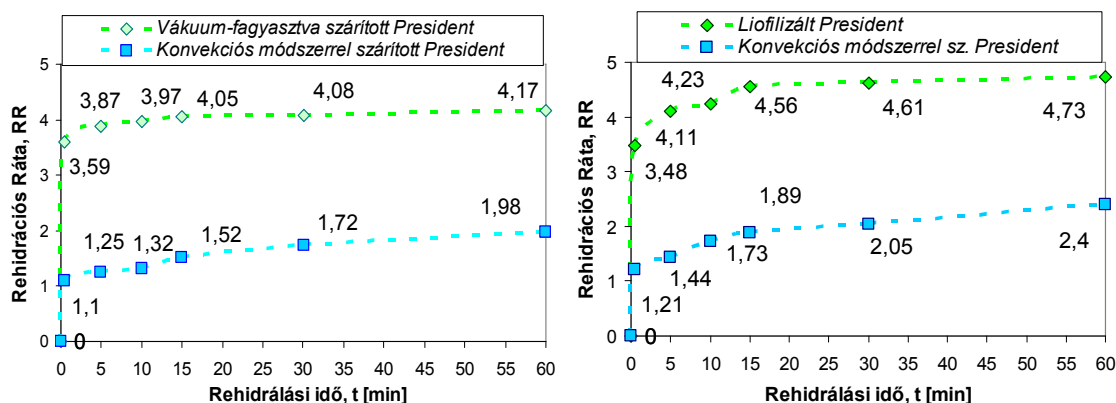
4.31. ábra. Konvektív módszerrel szárított és liofilizált 'Kántorjános' és 'Cigánymeggy' minták rehidrációja 35 °C-on



4.32. ábra. Konvektív módszerrel szárított és liofilizált 'Cacanska lepotica' szilvafajta minták rehidrációja 35 és 75 °C-on



4.33. ábra. Konvektív módszerrel szárított és liofilizált 'Cacanska rana' szilvafajta minták rehidrációja 35 és 75 °C-on

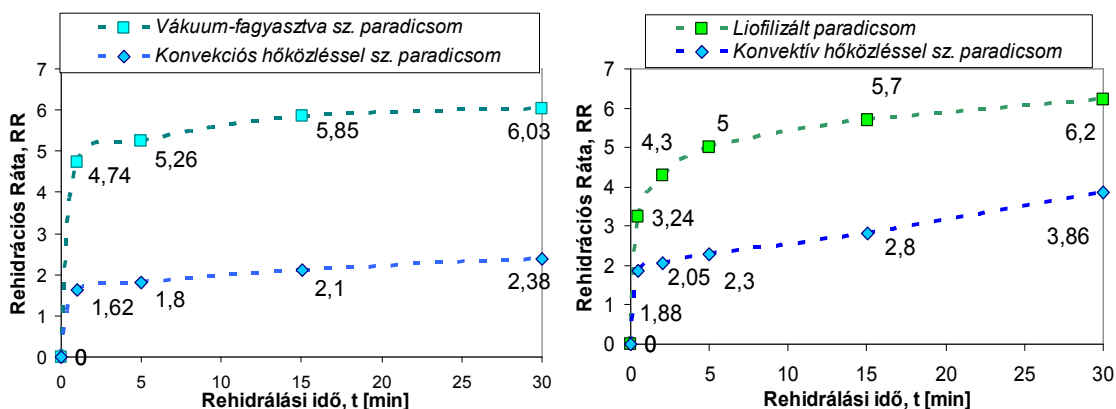


4.34. ábra. Konvektív módszerrel szárított és liofilizált 'President' szilvafajta minták rehidrációja 35 és 75 °C-on

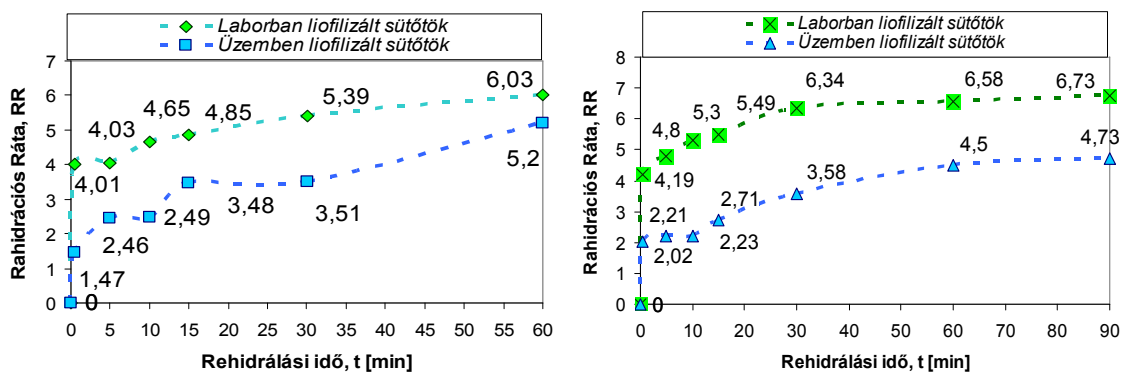
4.4.1.2. Dehidrált zöldségek visszanedvesedési képességének vizsgálata

A zöldségszáritmányok visszanedvesedése hasonló képet mutat a gyümölcszsáritmányok rehidrálásához. A vizsgált dehidrált zöldségek gyorsabb nedveségfelvételre képesek, mint a gyümölcsök, illetve nagyobb értékű rehidrációs rátával rendelkeznek a nedvesítési folyamat végén. Már a 0-10 perc között eléri a telítettségi állapotot. Véleményem szerint ez a zöldségfélékben meglévő kevesebb cukortartalom miatt van, itt nem alakul ki a gyümölcsökre jellemző ún. üveges-plasztikus állapot, és így nincs akadályoztatva a nedvességfelvétel.

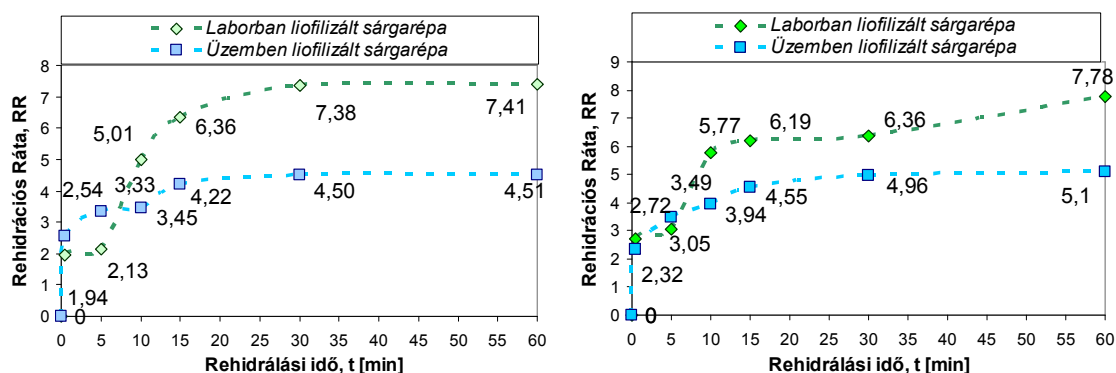
A dehidrált zöldségfélék rehidrálásánál is a liofilezett anyagokat jellemzi a gyorsabb vízfelvétel. Itt is az áztató közeg hőmérsékletének emelésével nagyobb rehidrációs rátát mértem.



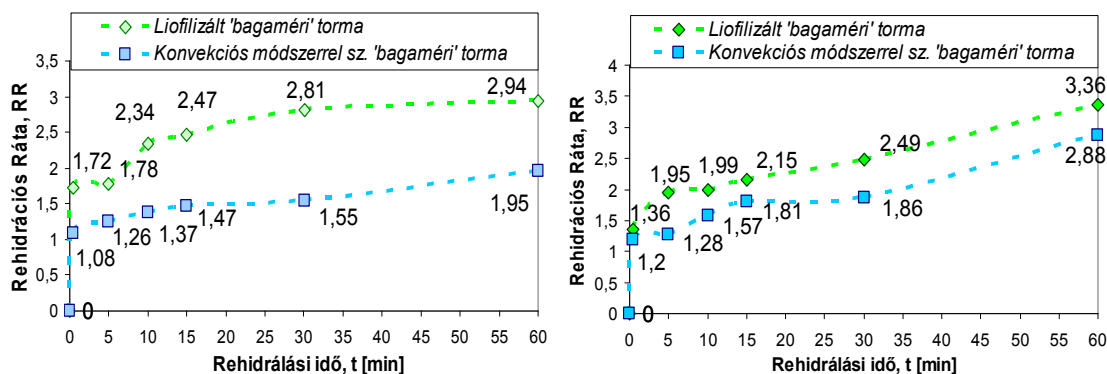
4.35. ábra. Konvektív módszerrel szárított és liofilizált 'Brillante' paradicsomfajta minták rehidrációja 35 és 75 °C-on



4.36. ábra. Üzemben és laboratóriumban liofilizált 'Nagydobosi' sütőtökfajta minták rehidrációja 35 és 75 °C-on



4.37. ábra. Üzemben és laboratóriumban liofilizált 'Vörös óriás' sárgarépafajta minták rehidrációja 35 és 75 °C-on



4.38. ábra. Konvektív módszerrel szárított és liofilizált 'Bagaméri 93/1' tormafajta minták rehidrációja 35 és 75 °C-on

Hasonló eredményeket kaptam, mint *Gaware et al. (2008)* paradicsomszáritmány 25 és 100 °C-os nedvesítő közegben történő visszanedvesedésénél. Azt tapasztalták, hogy amikor emelték a víz hőmérsékletét, kevesebb időre volt szükség a helyreállításhoz.

Mérési eredményekkel kimutatták, hogy a liofilizált termék rehidrációs ráta értéke kétszer akkora volt, mint a konvektív szárítási eljárással dehidrált anyagé.

Konvektív, vákuum mikrohullámú, és fagyasztva szárított sárgarépa visszanedvesítést végeztek el *Tein et al. (1998)*. Megállapították, hogy a liofilizált termék 25 és 100 °C-on történt visszanedvesedés folyamata alatt magasabb rehidrációs rátával volt jellemezhető, mint a másik két módszerrel szárított anyagok. Kimutatták, hogy a fagyasztva szárított anyagok gyors vízfelvevő-képességüket porózus struktúrájuknak köszönhetik.

4.4.2. Rehidrált kertészeti termékek nedvességtartalma

A dehidrált termékek vízfelvevő-képességének elemzésénél egyrészt arra vagyunk kíváncsiak, hogy a szárított termék tömegét hányszorosára képes növelni az újra felvett víz mennyisége, másrészt azt is tudnunk kell, hogy vajon a rehidrált termék visszanyeri-e az eredeti víztartalmát. A rehidrálni folyamat akkor mondható sikeresnek, ha a visszanedvesedett anyag eredeti fizikai tulajdonságait (pl. a nedvességtartalmát) teljes mértékben helyreállítja.

A rehidrált szárítmányok nedvességtartalmát a PRECISA HA 60 típusú gyorsnedvességmérővel határoztam meg, melyek adatait a 4.13.-4.14. táblázatokban összegeztem. Továbbá a táblázatokban feltüntettem, hogy az eredeti nedvességtartalomhoz képest hány százalékos rehidrált termék nedvességtartalma.

4.13. táblázat. Visszanedvesített gyümölcszárítmányok nedvességtartalma

A vizsgált fajták megnevezése	Nedvességtartalom, w [%]			Visszanedvesítési arány [%]	
	Nyersanyag	Konvekciós m. szárított	Liofilizált	Konvekciós m. szárított	Liofilizált
<i>Almafajták</i>					
Naményi Jonathan	83,34	61,8	78,11	74,15	93,72
Idared	86,23	68,32	82,62	79,2	95,8
Jonagold	84,2	63,55	79,57	75,4	94,5
Golden Delicious	85,2	60,04	79,21	70,5	93
<i>Meggyfajták</i>					
Újfehértói fürtös	82,14	43,21	73,3	52,6	89,2
Kántorjánosi 3	78,14	45,61	66,23	58,4	84,7
Cigánymeggy	80,1	47,2	68,7	58,9	85,7
<i>Szilvafajták</i>					
Cacanska lepotica	79,27	62,37	81,41	78,7	102,7
Cacanska rana	82,71	70,93	83,78	85,7	101,3
President	79,43	67,37	81,17	84,8	102,2

4.14. táblázat. Visszanedvesített zöldségzárítványok nedvességtartalma

A vizsgált fajták megnevezése	Nedvességtartalom, w [%]			Visszanedvesítési arány [%]	
	Nyersanyag	Konvekciós m. szárított	Liofilizált	Konvekciós m. szárított	Liofilizált
<i>Káposztafélék - Karalábé</i>					
Karalábé (Gigant)	79,4	61,8	73,6	77,8	92,7
<i>Burgonyafélék</i>					
Burgonya (Desiree)	75,2	58,4	73,4	77,6	97,6
Paradicsom (Brillante)	93,4	75,5	84,2	80,8	90,1
<i>Kabakosok - Sütőtök</i>					
Sütőtök (Nagydobosi)	84,44	72,4	85,03	85,7	100,7
<i>Gyökérzöldségfélék</i>					
Sárgarépa (Vörös óriás)	84,93	71,35	86,29	84	101,6
Torma (Bagaméri 93/1)	68,68	54,12	71,29	78,8	103,8

A táblázat eredményeiből megállapítható, hogy a liofilizált szárítványok visszanedvesedésével gyakorlatilag a nyersanyag nedvességtartalmával azonos értéket kaptam. Néhány esetben a rehidrált anyag nedvességtartalma meghaladta a kiindulási állapot víztartalmát. A porózus szerkezete miatt több nedvességet volt képes magába szívni. Másrésről, pl. meggy esetében, mely hajlik az ún. üveges állapotra (a magas cukortartalom miatt a termék ragacsos lett), nem lehetett az eredeti állapotokat visszaállítani.

Az eredmények hasonlóak, illetve részben megegyeznek *Urbányi (1991)* méréseivel, aki megállapította, hogy a liofilizált termékek rehidrálnak képessége rendkívül gyors, eredeti víztartalmának akár 90-95%-át képes felvenni.

A konvektív eljárással szárított mezőgazdasági anyagok esetében nem sikerült a nyersanyag nedvességtartalmát elérni, ennek oka az anyagszerkezetet károsító vízelvonási folyamatra vezethető vissza (zsugorodás, kérgesedés).

4.4.3. Szárított kertészeti termékek rehidrációs kinetikája

A rehidráció kinetikus egyenletéből – a 3.4.5. fejezetben került levezetésre – meghatároztam a rehidrációs tényezőt (k_r), mely elengedhetetlen a gyümölcs- és zöldségzárítványok visszanedvesíthetőségének összehasonlításához. Ennek bizonyítására a 4.39. – 4.41. ábrákon szemléltetem a rehidrációs tényezőt (k_r), a rehidrálnak idő függvényében.

A modell sikeres alkalmazásához a következő paramétereket mértem és használtam fel az 'Idared' almaszárítvány esetében (4.39. ábra):

A levegő relatív nedvességtartalma (ϕ): 52 [%].

A környezet hőmérséklete (t_k): 20,5 [°C].

A nedvesítő közeg hőmérséklete ($t_{v\acute{z}}$): 35 [°C].

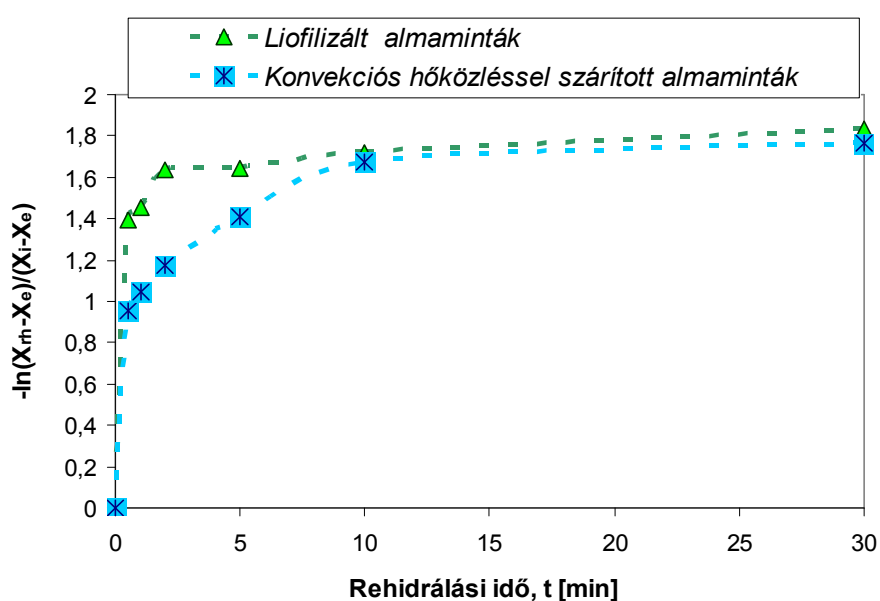
Az anyag egyensúlyi nedvességtartalma (X_e): 27 [kg/kg] [14. melléklet].

A szárított anyag nedvességtartalma (X_i):

- liofilizálás: 3,8 [kg/kg],

- konvekciós szárítás: 5,47 [kg/kg].

Az anyag nedvességtartalma a visszanedvesedés alatt (X_{rh}): A 4.28/a. ábra aktuális RR pontjához tartozó nedvességtartalom.



4.39. ábra. Vákuum-fagyasztva és konvektív hőközléssel szárított 'Idared' almafajta mintáinak rehidrációs tényezője

Paraméterek a szárított 'Cacanska rana' szilvafajtánál a minták rehidrációs tényezőjének meghatározásához (4.40. ábra):

A levegő relatív nedvességtartalma (ϕ): 52 [%].

A környezet hőmérséklete (t_k): 20,4 [°C].

A nedvesítő közeg hőmérséklete ($t_{v\acute{z}}$): 75 [°C].

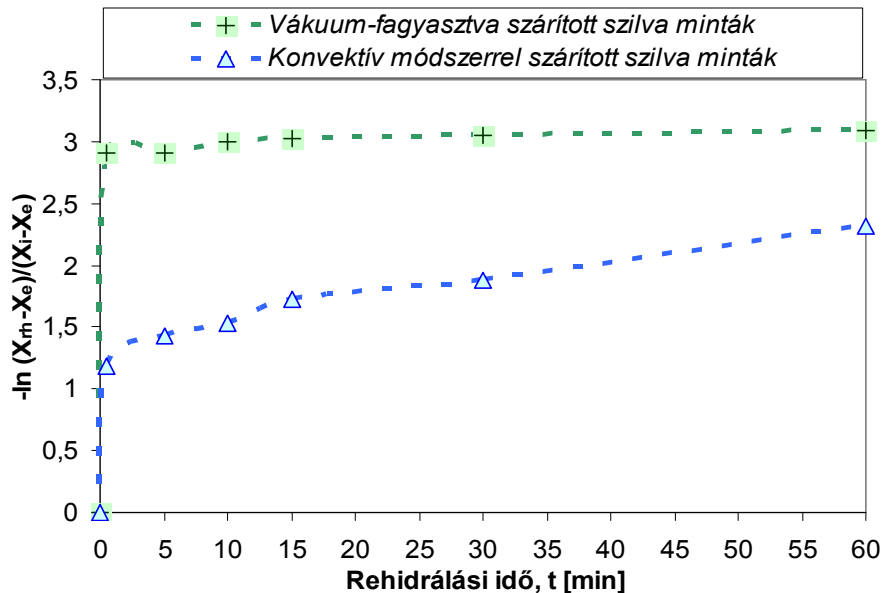
Az anyag egyensúlyi nedvességtartalma (X_e): 10,4 [kg/kg] [14. melléklet].

A szárított anyag nedvességtartalma (X_i):

- liofilizálás: 6,62 [kg/kg],

- konvekciós szárítás: 2,75 [kg/kg].

Az anyag nedvességtartalma a visszanedvesedés alatt (X_{rh}): A 4.33/b. ábra aktuális RR pontjához tartozó nedvességtartalom.



4.40. ábra. Vákuum-fagyasztva és konvektív hőközléssel szárított 'Cacanska rana' szilva fajta mintáinak rehidrációs tényezője

Paraméterek a szárított 'Vörös óriás' sárgarépa fajta mintáinak rehidrációs tényezőjének meghatározásához (4.41. ábra):

A levegő relatív nedvességtartalma (ϕ): 61 [%].

A környezet hőmérséklete (t_k): 20,8 [°C].

A nedvesítő közeg hőmérséklete (t_{viz}): 75 [°C].

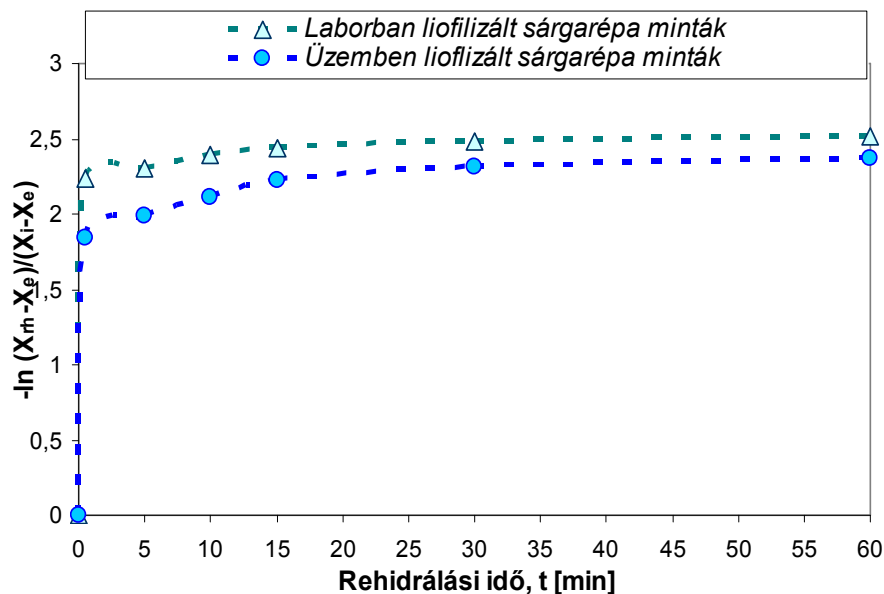
Az anyag egyensúlyi nedvességtartalma (X_e): 13,7 [kg/kg] [14. melléklet].

A szárított anyag nedvességtartalma (X_i):

- liofilizálás-laborban: 6,17 [kg/kg],

- liofilizálás-üzemben: 3,4 [kg/kg].

Az anyag nedvességtartalma a visszanedvesedés alatt (X_{rh}): A 4.37/b. ábra aktuális RR pontjához tartozó nedvességtartalom.



4.41. ábra. Üzemben és laborban liofilizált 'Vörös óriás' sárgarépa fajta mintáinak rehidrációs tényezője

Az ábrákon látható, hogy az összes görbe hasonló jelleget mutat, habár értékei természetesen eltérnek egymástól, ez függhet a szárított termék telíthetőségétől, az anyagjellemzőktől (nedvességtartalom, tömeg, méret), a nedvesítő közeg hőmérsékletétől is.

A kétféle (konvektív és liofilizálás) szárítási eljárásnál alkalmazott rehidrációs modell esetében megfigyelhető, hogy szignifikáns különbség van a visszanedvesedést leíró görbék között, a liofilizálásnál minden esetben a „ k_r ” tényező értéke magasabb értéket képviselt.

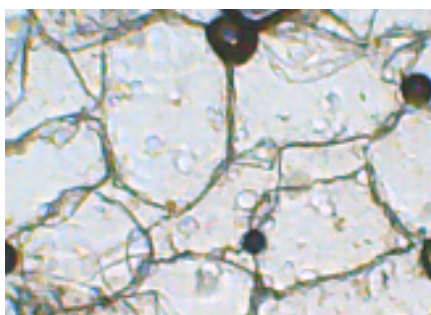
A liofilizált anyagok (sárgarépa) rehidrációs tényezője a laboratóriumi szárítás esetében mutatott markánsabb értéket, az üzemi eredményekhez képest.

A változók értékeinek (pl. X_e – egyensúlyi nedvességtartalom) pontosabb meghatározásához még további kísérletre van szükség, de a rendelkezésre álló mérési eredmények arra elegendőnek bizonyultak, hogy a kifejlesztett modell alkalmasságát a gyümölcs- és zöldségszáritmányok rehidrálásának feltételeire bemutassam.

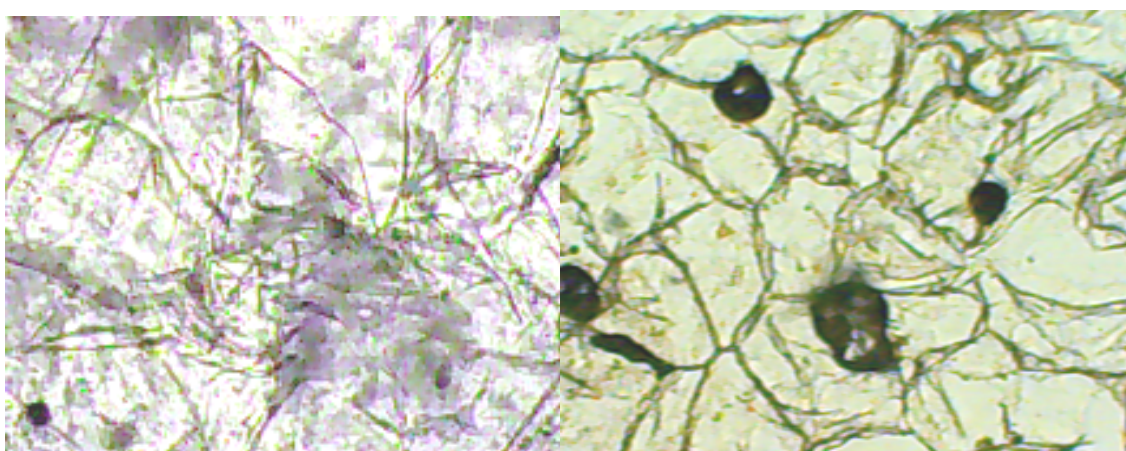
4.5. A szárítmányok textúrális elemzése

A gyümölcs- és zöldségfélék hőkezelésének számos kedvezőtlen következménye is lehet, a számos előnye mellett. A hőbehatás következtében a szárított anyagok szövet-szerkezete deformálódik. Az általam megfigyelt és rögzített szöveti elváltozások elemzését ebben a fejezetben szeretném ismertetni.

A nyers és a szárított mintákról készített elektromikroszkópos felvételek 4× nagyítás-ban a 4.42. – 4.49. ábrákon láthatók.



4.42. ábra. Nyers 'Jonagold' almaminta szöveti állapota

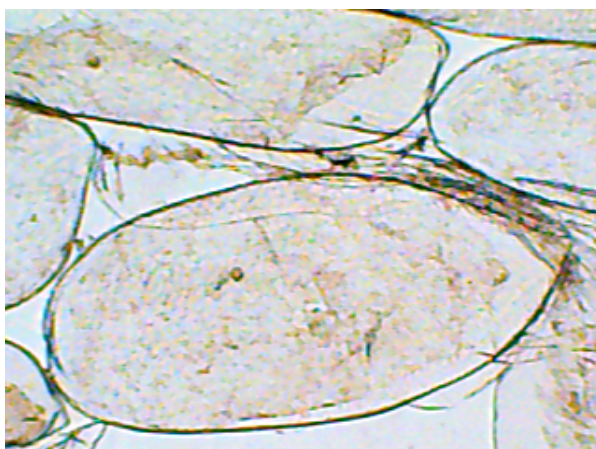


4.43. ábra. A 'Jonagold' almaminta konvektív hőkezelés és liofilizálás utáni szöveti állapota

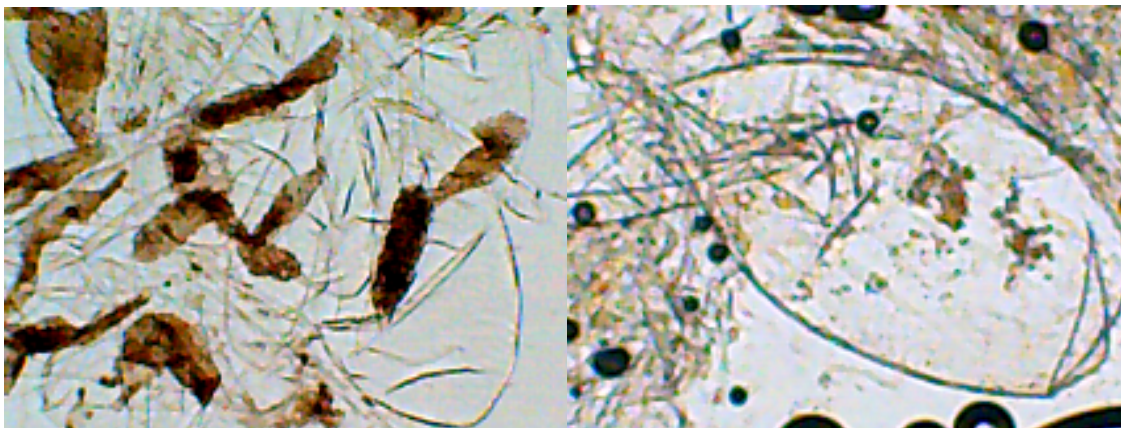
A 'Jonagold' almafajta nyers mintái esetében a parenchima nagyméretű, viszonylag vékonyfalú sejtekből áll, amelyek térfogatának nagy részét a központi vakuolum tölti ki. A sejtfalaira jellemző a szabályos kissé elnyúlt kerek forma, mely a szeletelés során sérüléséken ment keresztül. Ennek hatására a sejtfal zárt, éllel rendelkező téglalapszerű formát vett fel (4.42. ábra).

A 'Jonagold' almafajta mintáinak szövetszerkezete a konvektív hőelvonás hatására (4.43/a. ábra) teljes deformáción ment keresztül. A szárítási folyamata alatt, bizonyos anyag-nedvességtartalomnál (43,5%, 12%, 8,1%) metszeteket vettem ki a szárítóból és mikroszkóp segítségével elemeztem azokat. A 43,5%-os nedvességtartalmú mintáknál méretcsökkenést tapasztaltam, a nyers állapothoz viszonyítva. Ahogy a sejtfalak elvékonyodtak, berepedtek, zsugorodtak, és annak hatására a sejtek között üres járatok képződtek. Az anyag 12%-os nedvességtartalmánál megfigyelhető, ahogy a száradási front egyre beljebb húzódik, a cellákban nyomásnövekedés alakul ki, a sejtben lévő alkotók bomlását és a sejtfal törését megakadályozva. A szövetek végül szétesnek, a sejtfalak elválnak egymástól, ez azzal magyarázható, hogy a sejtfal elveszíti rugalmasságát, és a szárítás okozta nyomáskülönbséget nem bírja elviselni. A száradási folyamat végén (8,1%-os anyag nedvességtartalom) a szövetek torzultak, szabálytalan alakot vettek fel, és a felismerhetetlenségig összemosódtak.

A liofilizált minták szövetszerkezetét a szárítás közben vizsgálni nem tudtam, technológiai okokból kifolyólag, mivel a rendszer a szublimáció során vákuum alatt van. A 'Jonagold' almafajta mintáinak a szövetei a fagyasztva szárítást követően (4.43/b. ábra) károsodtak. Többek között ezért a lassú fagyasztási sebesség okolható. A fagyasztás károsítja a sejtszerkezetet, vagy gyengíti a fiziológiai aktivitását. Sejtek zsugorodását nem tapasztaltam, hiszen fagyasztás során, a sejteken belül kialakuló jégkristályok megakadályozzák azt. Többek között nagy belső terek képződtek, a sejtfalak elvékonyodtak, fellazultak és szabálytalan alakot vettek fel az eredeti állapothoz képest. Korábbi publikációnkban – *Kerekes et al., 2008* – már megjelent a fent közölt eredmény.



4.44. ábra. 'Cacanska rana' szilva nyers gyümölcseről készített metszet szöveti állapota



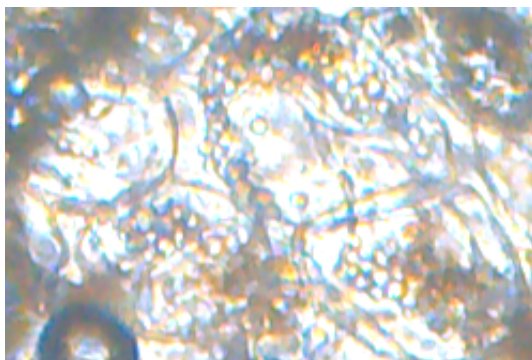
4.45. ábra. A 'Cacanska rana' szilvametszet konvektív hőkezelés és liofilizálás utáni szöveti állapota

A 'Cacanska rana' szilvafajta nyers mintájának szöve (4.44. ábra) laza szerkezetű és nagy elnyújtott kerek sejtekből áll. Hasonlóan az almához, a szilvára is jellemző a nagyméretű parenchima, és a viszonylag vékonyfalú sejtek.

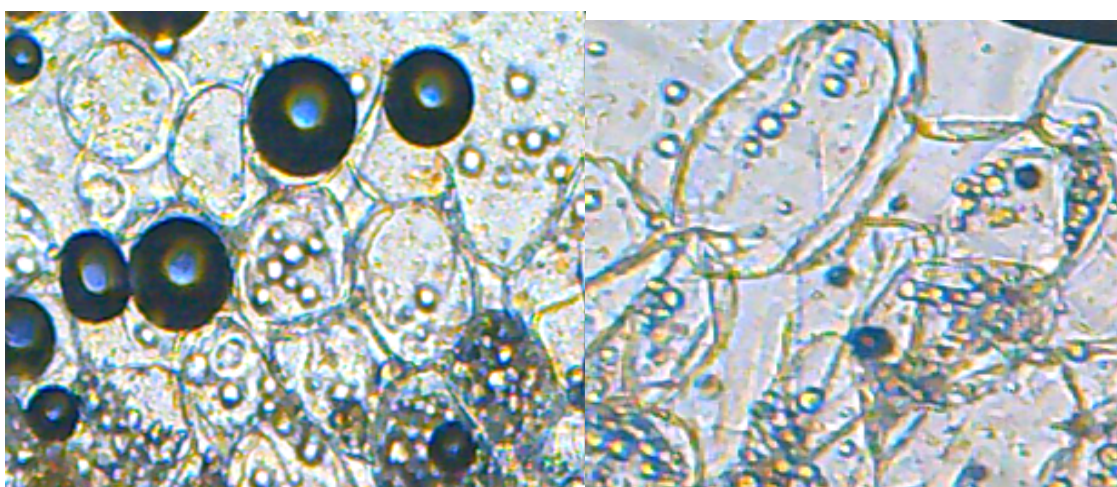
A szilvaszeletek konvektív szárítása (4.45/a) hatására, szintén káros folyamatok játszódtak le. A következő száradó anyag nedvességtartalmánál: 45% – 25,5% – 3,1%, elemeztem a mikrostrukturális állapotokat. Az anyag 45%-os nedvességtartalmánál a sejtfaalak zsugorodását figyeltem meg. A szárítmány 25,5% -os nedvességtartalmánál a sejtfaalak megnyúltak, elvékonyodtak és elszakadtak egymástól. A szárítási eljárás befejezésénél (3,1%) kisebb volt a szövetszerkezeti károsodás, mint az alma konvektív dehidráálásánál. A sejtfaalak nagy része deformálódott, sejtösszeomlás-összemosódás történt, de még néhány sejt megtartotta viszonylagos stabil állapotát.

A liofilizált minták szöve (4.45/b. ábra) a fagyasztás és a szárítás hatására roncsolódott, de sejtek összenyomódása nem történt meg. A szövetek nagy része megőrizte nagyméretű kerek formáját, néhány esetben pedig a szétdarabolódott sejtfaalakak összemosódtak az ép szövetekkel.

A 'Nagydobosi' sütőtök- és 'Vörös óriás' sárgarépa minták üzemi és laboratóriumi liofilizálás hatására kialakuló mikrostrukturális elváltozásait is vizsgáltam.



4.46. ábra. Nyers 'Nagydobosi' sütitőkfajta metszet szövete

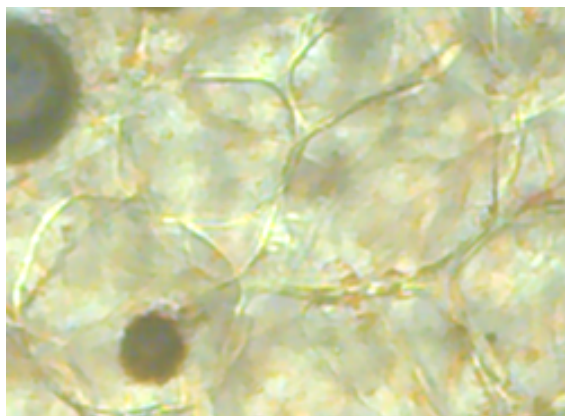


4.47. ábra. A 'Nagydobosi' sütitőkmetszet üzemi és laboratóriumi liofilizálás utáni szöveti állapota

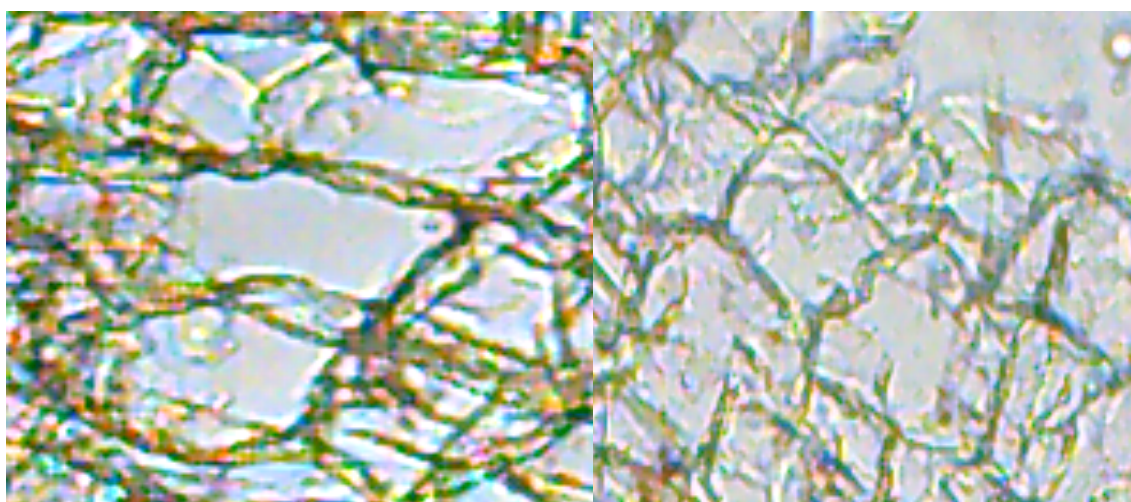
A 4.46. ábrán a nyers 'Nagydobosi' sütitők nagyméretű kerekded sejtjeinek felépítését figyelhetjük meg, a sejtekben lévő zsírral együtt.

Az üzemi méretekben vákuum-fagyasztva szárított sütitők szövetei (4.47/a. ábra) megtartották kerekded formájukat, csak elhanyagolható számban fordult elő a sejtek törése, szétválása. Az ábrán megfigyelhető még, hogy a sejtek felülete kisebb, mint a laborban liofilizált mintáké, ez visszavezethető a gyorsabb fagyasztásra. Ebben az esetben kisebb jégkristályok (ún. mikrokristályos szerkezet) keletkeztek, mint a laboratóriumi liofilizálásnál, ez hozzájárult a szárítás végén kialakuló szilárdabb struktúrához.

A laboratóriumi fagyasztva szárításnál (4.47/b. ábra) kisebb viszonylatban megmaradt a sejtek kerek, zárt formája, viszont a szövetek kb. 60%-ára szabálytalan alak volt jellemző (Antal et al., 2009).



4.48. ábra. Nyers 'Vörös óriás' sárgarépaminta szövete



4.49. ábra. A 'Vörös óriás' sárgarépaminta üzemi és laboratóriumi liofilizálás utáni szöveti állapota

A 'Vörös óriás' sárgarépa struktúrája (4.48. ábra) hasonló a sütőtök nagyméretű ke-
rekded formájához, viszont a sűrűbb, tömöttebb anyagszerkezet miatt nehezebb volt
felvételt készíteni a sejtekről.

Az üzemi és laboratóriumi liofilizálás során arra a következtetésre jutottam, hogy a
sárgarépa szövete (4.49. ábra) nagyobb károsodáson ment végbe, mint a sütőtök struktú-
rája. Az ábrákon megfigyelhető, hogy a sejtfalak fellazultak, berepedtek, néhány helyen
elváltak egymástól és összemosódtak. A szárított sárgarépa textúrájának nagyobb igény-
bevétele a gyengébb anyagszerkezetben keresendő, mivel a sütőtök és sárgarépa dehid-
rálásánál a szárítási paraméterek (szárítási idő, nedvességtartalom stb.) közel azonosak

voltak. A felvételekből szintén kiderül, hogy a laboratóriumban (4.49/b. ábra) történt liofilizálás jobban igénybe vette a szöveteket, mint az üzemi liofilizálás (4.49/a. ábra).

A szöveti vizsgálatok eredményeit tekintve, *Chenghai et al. (2002)* – állati szövetek elemzésénél – kimutatták, hogy a nyers mintához viszonyítva a fagyasztva szárított minta struktúrájában nem volt releváns változás, mint például cellatörés, szövetek ráncosodása, széles cellaterek, sejtek denaturálódása. Ezek mellett megállapították, hogy a fagyasztva szárítási módszerrel tartható meg legjobban a szövetek eredeti állapota.

Lewicki és Pawlak (2003) konvektív és fagyasztva szárított 'Idared' almakockák mikrostrukturális elemzését végezték el. Azt állapították meg, hogy konvektív szárítással dehidrált anyagra hatással volt a hőmérséklet és a nedvesség gradiens (70 °C, 1,5 m/s), mivel számos szövet sejtfa megnyúlt, zsugorodott, deformálódott és összetört. Az alma fagyasztva szárításánál azt tapasztalták, hogy a szövetek végső formáját a fagyasztás befolyásolta. Szerintük nem történt zsugorodás, mert a jégkristályok nagy szilárd üregeket képeztek. A szárítás végén a nagy belső üregek szabálytalan alakot vettek fel, és néhány helyen a sejtfa összeesett.

Továbbá *Lewicki és Pawlak (2005)* kimutatták, hogy a burgonya a konvektív szárítás hatására átlagosan 37%-ot zsugorodott, a cellák falai pedig elváltak, összeesett. Megállapították, hogy a burgonyakockák fagyasztva szárítását (24h, 20 °C, 56 Pa) károsan befolyásolta a fagyasztási folyamat. Nagy szabálytalan üregek keletkeztek, az összeesett cellák falai belenyúltak az üres terekbe, és a struktúra a tartását elvesztette. Arra a következtetésre jutottak, hogy a liofilizált burgonya szövetei nagyobb deformációt szenvedtek, mint a liofilizált 'Idared' almafajta mintáinak szövetei.

Rodriguez et al. (2005) gomba vízelvonását végezték el mikrohullámú és fagyasztva szárítással. Mindkét kezelés során elhanyagolható különbséget vettek észre a nyersanyag struktúrájához képest. Kis mértékű zsugorodást figyeltek meg a szárítmányok szöveteiben, mivel azt tapasztalták, hogy a szárított minták sejtmérete hasonló lett a nyersanyag kiindulási állapotához.

5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A közreműködésemmel fejlesztett és kivitelezett adatgyűjtő rendszer lehetővé teszi a pontos, megbízható méréseket, a szárítási művelet jobb megismerésére, a folyamat precíz vizsgálatára.

A hő- és anyagátadási folyamatok vizsgálatából megállapítottam, hogy fagyasztva szárításkor az alkalmazott hőmérséklet és a nyomás nagyságrendekkel kisebb, a szárítási idő pedig jóval hosszabb, mint a konvekciós szárításnál.

Kimutattam, hogy a vákuum-fagyasztva szárítóban a száradó anyag vastagsága és mérete döntő a száradási folyamat sebessége szempontjából. Optimális anyagvastagság alkalmazásával csökkenthető a folyamat szárítási ideje.

Ismert matematikai formulák alkalmazásával megállapítottam, hogy a vákuum-fagyasztva szárításhoz szükséges hőmennyiség mintegy 1,2-2,8-szerese a hagyományos szárítási eljárásnak. A liofilizálás energiafogyasztása (1 kg víz elpárologtatásához szükséges energiafelhasználás) 3,7-9,4-szerese a meleglevegős szárítási eljárás energiafelhasználásának. Az ipari alkalmazás ezért elsősorban olyan élelmiszerek tartósítására korlátozódik, amelyeknél a kiindulási nyersanyag magas ára folytán a drága tartósítási költségei a végtermék árában százalékosan csak kis részt tesznek ki.

Száritott gyümölcsök és zöldségek analitikai elemzéséből megállapítottam, hogy a beltartalmi összetevők – szénhidrátok, savak, fehérjék, zsírok, rostanyagok, ásványi anyagok, vitaminok, flavonoidok, karotinoidok – a liofilizált mintáknál 10-30%-kal csökkentek, míg a konvektív módszerrel dehidrált anyagoknál 45-88%-os csökkenés volt mérhető a kiindulási állapothoz képest.

Ezen kívül a mérési adatok szembetűnő csökkenést mutattak a C-vitamin tartalomban, ami annak a hőérzékenységet mutatja. Mindez a szárítási hőmérséklet növelésének korlátozó tényezője is lehet, hiszen a C-vitamin bomlás már 45 °C felett megindul. A B-vitamin tartalomban már nem volt akkora mértékű csökkenés a hőkezelés hatására, mint az aszkorbinsavban. A fehérjék viszonylag alacsony szárítási hőmérsékleten kicsapódtak, eredeti állapotból denaturált állapotba kerültek, ennek hatására az összetevőben csökkenést tapasztaltam. Így a fehérjék a B- és C-vitaminhoz hasonlóan hőérzékeny anyagok. Az alma- és meggyfajták szárítmányainak a kémiai vizsgálatánál arra az

eredményre jutottam, hogy az E-vitamin és a flavonoidok kevésbé hőérzékeny anyagok, mert általában az alkotók mennyiségében növekedést tapasztaltam a hőkezelés hatására. A gyümölcsök beltartalmi elemzéséből az is kiderül, hogy a szénhidráttartalom, a savtartalom és az ásványi anyag-tartalom növekedett a szárított mintákban, ez arra utal, hogy az alma és a meggy szénhidrát-, sav- és ásványi anyag-összetevői viszonylag hőtűrők és így átalakulások nem következtek be.

Az MGA-1091 típusú hordozható keménységmérő műszer alkalmasnak bizonyult a szárított kertészeti termékek keménységének meghatározására. A penetrációs vizsgálatokkal meghatároztam, hogy a konvekciós eljárással szárított zöldségek és gyümölcsök felülete legalább 1,42-9,11-szer keményebb a fagyasztva szárítottakénál. Ennek oka, hogy a víz a termék felületéről párolgással távozik el a szárítás alatt, és a párolgó víz utánpótlása a belső rétegekből diffúzióval történik. A belső részekből a felület felé diffundáló víz mozgása során oldott anyagokat visz magával, azok a felületen a víz elpárolgása után visszamaradnak, koncentrálnak és kemény réteget képeznek. Liofilezés-kor a belső diffúzió nem következik be, mert a szublimáció a felületen megindulva fokozatosan a mélyebben fekvő rétegekre terjed ki, a jég pedig közvetlenül gőzzé alakul, nincs folyékony fázis.

A penetrációs mérések adataiból kimutattam, hogy tárolás alatt a dehidrált anyagok rugalmassági tényezője változik a környezet relatív páratartalmának hatására. Így a termék kölcsönhatása a környező közeggel két irányban történik, adszorpció és deszorpció jön létre. Ebből adódóan változó a felületen mérhető rugalmassági tényező.

A lejátszódó folyamat jól mutatja, hogy a liofilizált anyagnak rendkívül erős hajlama van a víz megkötésére a levegőből. Ez viszont növeli a minőségromlás kockázatát, ezért a szárított termék tárolásakor fellépő fiziológiai folyamatok korszerű tárolással és csomagolással lassíthatók.

A szárított anyag és az őt körülvevő levegő relatív nedvességtartalma között egyensúly alakul ki. A szárítmánynak ezt a tulajdonságát felhasználva egyensúlyi nedvességtartalom görbe szerkeszthető. Természetesen e folyamat pontos modellezéséhez szorpciós izotermák felvétele szükségeltetik, – mely nélkülözhetetlen a termékek egyensúlyi nedvességtartalmának meghatározásához – s ez további kutatást igényel.

Méréseim alapján megállapítottam, hogy a fagyasztva szárított anyagok a visszanedvesedéskor közel eredeti víztartalmukra állnak be, megtartják eredeti alakjukat és méretüket. Ennek oka a liofilizált termékek lyukacsos, szivacsos szerkezete (a sejtfal rugalmassága), mely gyors nedvességfelvételre és helyreállításra képes. A meggy kivétel ez alól, mert a mérések során azt tapasztaltam, hogy nem sikerült teljesen az eredeti nedvességtartalmat visszaállítani, az ún. üveges állapot miatt.

A rehidrációs vizsgálatokkal kimutattam, hogy a fagyasztva szárított anyagok kis része a nedvesítés után puhábbnak bizonyult a nyersanyaghoz képest. A konvektíven szárított minták a visszanedvesedési folyamat végén továbbra is megtartották kemény, szilárd felületüket, így nem voltak képesek helyreállítani az eredeti formájukat és nedvességtartalmukat.

A rehidrációs görbékből megállapítható, hogy a liofilizált minták nagyobb értékű rehidrációs rátával (visszanedvesedési mutató) rendelkeznek, gyorsabban rehidráálhatóak, mint a konvekciós úton szárítottak. A magasabb hőmérsékletű nedvesítőközegben gyorsabb a visszanedvesedés és nagyobb értékű rehidrációs ráta volt elérhető. Mind az alacsonyabb, mind a magasabb hőmérsékleten történt visszanedvesedésnél a liofilizált mintáknál tapasztaltam gyorsabb nedvességfelvételt. A konvektíven szárított minták alacsonyabb rehidrációs rátája az összeesett struktúrára, a zsugorodásra és a kemény felületre vezethető vissza.

A kísérletek bizonyították, hogy a rehidrációs modell sikeresen leírja a fagyasztva szárított és konvektív módszerrel szárított minták áztatási folyamatát (nedvességfelvétel és telítődés). Megállapítottam, hogy a liofilizált anyagok magasabb értékű rehidrációs tényezővel (k_r) rendelkeznek, mint a hagyományos úton szárított anyagok. A modellt eddig még nem használták liofilizált és konvektív szárítási eljárással dehidratált minták visszanedvesedésének leírására.

A szárítmányok szöveti mintáinak elemzéséből megállapítottam, hogy a vákuum-fagyasztva szárított metszetek sejtfalai roncsolódtak a vízelvonás alatt, enyhe kimenetelű károsodás jelentkezett, a sejtfalak elvékonyodtak, néhány elvált egymástól és szabálytalan alakot vett fel az eredeti (nyers) állapothoz képest. Zsugorodást viszont nem tapasztaltam, mivel a jégkristályok megakadályozták a méretcsökkenés kialakulását.

A hagyományos módszerrel szárított mintáknál a cellák összezsugorodtak, a sejtfalak elvékonyodtak, elváltak egymástól és torzuláson mentek keresztül, ami rehidrásnál sem állt helyre.

A sejtfalak kisebb mértékű károsodása a szárítóközeg sebességének és hőmérsékletének csökkentésével, illetve a szárítási idő elnyújtásával érhető el. A túl magas hőmérsékleten végzett szárítás a termény denaturálódását, a sejtfalak rugalmatlanná válását, és a duzzadókéesség csökkenését okozza. A szárítási intenzitás megnövekedésével a sejtfalak zsugorodnak, deformálódnak.

Az üzemi vizsgálatokból megállapítottam, hogy az üzemi szublimációs szárító a szárítmány szinte minden beltartalmi összetevőjét tekintve több mennyiséget őrzött meg a laborban liofilizált mintákhoz viszonyítva. Ennek oka, hogy gyorsabb terméklefagyasztás történt (lég-turbóhűtőgép által), ami hozzájárult ahhoz, hogy a mikro jégkristályok nem vagy csak kis mértékben szakították át a sejtfalakat, így a szárítás következtében szublimáló vízgőz kis mennyiségű oldott állapotú beltartalmi anyagot vitt magával a szárítmány külső felülete felé. Ezek mellett az alacsonyabb szárítási sebesség is hozzájárult a sejtfalak viszonylagos stabil állapotához.

A szárítmányok szilárdsági méréseivel kimutattam, hogy az üzemben dehidrált minták felülete rugalmasabb, puhább, mint a laborban kezelt minták felülete, míg a visszanedvesedési hajlama már nem ezt bizonyította, ugyanis egy nagyságrenddel jobban rehidrálnak a laboratóriumban liofilizált anyagok.

Visszanedvesedéskor a nagy porozitás biztosította, hogy a liofilizált anyagok eredeti tulajdonságaikat gyorsan visszanyerték. Természetesen a gyors visszaduzzadás lehetőségét adó nagy felület, a porózus szerkezet növeli az oxidációs veszélyt, ami miatt semleges gáz-térben (vízgőzzáró) történő csomagolás szükséges a bomlásra hajlamos szín- és ízanyagokat tartalmazó liofilizált szárítmányok esetében.

A szerkezeti struktúra vizsgálatából megállapítottam, hogy a laborban szárított minták szövetszerkezetén nagyobb kimenetelű deformáció ment végbe a kisebb fagyasztási sebesség miatt. A laboratóriumban működő vákuum-fagyasztva szárító kompresszoros hűtő berendezéssel van ellátva, és a lassúbb terméklefagyasztás miatt viszonylag nagyméretű jégkristályok jöttek létre és roncsolták a sejtfalakat.

6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Összefüggést állapítottam meg liofilizált gyümölcsök és zöldségek szárítási folyamatainak jellemzésére, melyek matematikailag harmadfokú polinomokkal közelíthetők. Az alábbi egyenlet illeszthető a száradó anyagok nedvességtartalom-csökkenését ábrázoló függvényekre.

$$w=at^3-bt^2-ct+k$$

ahol: w a termék nedvességtartalma [%]; t a szárítási idő [h], a , b , c , k a harmadfokú polinom állandó együtthatói, melyek értékei az anyag jellemzőitől függnnek: a fajtától, az érettségtől, és a vízleadási hajlandóságtól.

Tartományai: $a=0,0229-0,005$; $b=0,8182-0,011$; $c=4,5966-0,059$; $k=95,736-69,532$.

2. Megállapítottam, hogy a fagyasztva szárítás üzemeltetési költsége 3,7-9,4-szerese a konvektív szárítási eljárás üzemeltetési költségének. Az eredmények azt mutatják, hogy itt figyelembe kell venni a szárítási időt, a szárítóközeg hőmérsékletét, a jég szublimációs hőjét, az óránként eltávozó vízmennyiséget, és a berendezések teljesítményigényét.
3. A beltartalmi jellemzők vizsgálatából megállapítható, hogy a vákuum-fagyasztva szárítás módszerével több alkotó marad a szárítmányban, mint a konvektív szárítási eljárással dehidratált zöldség- és gyümölcsfélénél. Analitikai mérésekkel kimutattam, hogy a B- és C-vitaminok és fehérjék jellemzője a hőérzékenység. Az E-vitamin és a flavonoidok kevésbé hőérzékenyek, a szénhidrát-tartalom a savtartalom és az ásványi anyag-tartalom pedig viszonylag hőtűrő összetevők, hiszen a hőkezelés hatására ezekben az alkotók mennyiségében növekedést tapasztaltam.
4. Új összefüggést határoztam meg a Lewis-féle szárítás kinetikai egyenletét felhasználva. A visszanedvesedés egyenlete, amely egy félempirikus matematikai modell, az alábbi módon fejeztem ki:

$$X_{rh}=X_e+(X_i-X_e)\cdot e^{-kr\cdot t},$$

mely a konvektív módszerrel szárított és liofilizált anyagok rehidrációs folyamatainak függvényyszerű leírására alkalmas.

Ahol: X_{rh} az anyag nedvességtartalma a visszanedvesedés alatt [kg/kg], X_i a szárított anyag nedvességtartalma [kg/kg], X_e a rehidratált anyag egyensúlyi nedvességtartalma [kg/kg], k_r a rehidrációs tényező, t a rehidrációs idő [s].

A k_r tényező tartományai, konvektív módszerrel szárított anyagnál: 0,95-2,32; liofilizált anyagnál: 1,39-3,09.

A matematikai modell alkalmazásának kritériumai: az anyag teljes felületével merüljön bele a vízbe, állandó vízhőmérséklet a visszanedvesedés alatt, a minták azonos (X_i ; szárítás utáni) nedvességtartalma, és a visszanedvesedő anyagok tömege, illetve mérete megegyező.

5. Penetrációs vizsgálatokkal bizonyítottam a konvektív szárítási eljárással dehidrált minták anyagváltozásainak kedvezőtlen alakulását a fagyasztva szárított minták anyagváltozásaihoz képest. A konvektív eljárással szárított zöldségek és gyümölcsök felülete 1,42-9,11-szer keményebb a fagyasztva szárítottakénál.
6. Bizonyítottam, hogy keménységmérés által jellemezhető a szárított zöldségek és gyümölcsök tárolás alatti nedvességfelvételének- és leadásának folyamata.

GYAKORLATI EREDMÉNYEK

Kutatás-módszertani eredmények

1. A vákuum-fagyasztva szárítóban – a szárítóban uralkodó vákuum miatt – nehezen oldható meg a száradó anyag tömegvesztésének nyomon követése, mely alapvető a hő- és anyagtranszport modellezéséhez. A szárítótér alján elhelyezett nyúlásmérő bélyeges mérlegcellával a liofilizált anyagok szárítási függvénye felvehető és ezáltal pontosabb eredményt kapunk a szárítás alatt lejátszódó folyamatokról.
2. Megállapítottam, hogy a liofilizálás gazdaságosságát elsősorban a szárítási idő csökkentésével lehet elérni. Ennek meghatározója: a szárítandó anyag vastagsága, kis rétegvastagság alkalmazása, az anyag lehűtésének mértéke (elég a kristályosodási pont alá, kb. $-20 - 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig), és az intenzív hőközlés (az anyag felengedése nélkül). A vizsgált kétféle szárítási eljárás (konvektív- és fagyasztva szárítás) összekapcsolásával is nagymértékben redukálható a szárítási idő. (Ezt másképpen kombinált szárítási módszernek is nevezhetjük.) Ezen javaslatok betartásával visszaszorítható az amúgy is hosszú üzemeltetési időtartam.
3. A zöldség- és gyümölcsfajták tárolási idejének és érettségének meghatározásához különböző módszerekkel működő keménységmérő (penetrométer) berendezéseket alkalmaznak. A méréseim igazolták, hogy ezek a műszerek a zöldség- és gyümölcszsárlmányok minőségi jellemzésére is ugyanúgy alkalmasak.
4. Az általam alkalmazott állományvizsgálati módszer (keménységmérés) a dehidrált kertészeti termékek nedvességtranszport folyamatának gyors vizsgálatára és ellenőrzésére ad lehetőséget az üzemekben.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Dolgozatomban a szárított kertészeti termékek minőségét befolyásoló technológiai jellemzők – hő- és anyagátadás, beltartalom, felületi keménység, rehidráció, szöveti szerkezet – vizsgálatával foglalkoztam.

Kutatásom fő célkitűzése az volt, hogy két ismert szárítási eljárás – konvektív vízelvonás és liofilizálás – összehasonlításával elemezzem, modellezsem a nedvességelvonás folyamán kialakuló minőségi paraméterek változásait.

Az ide vonatkozó külföldi szakirodalomban számos – magyar vonatkozásban hiányterület, és nem kidolgozott – módszer jelent meg a szárítmányok minőségi jellemzésére, melyek ismertetésével a teljesség igénye nélkül foglalkoztam. Ezekre alapozva építettem fel a kutatómunkámat. Mindezek figyelembe vételével aktuális és fontos ezzel a területtel foglalkozni.

A szárítás során lejátszódó hő- és anyagtranszport folyamatok jellemzéséhez a tanszéken¹ található laboratóriumi fagyasztva szárító berendezést elláttuk egy adatgyűjtő rendszerrel, mely a szárítókamrába elhelyezett tömegmérő cellából, egy jelfeldolgozóból és szoftverből áll. Kimutattam, hogy fagyasztva szárításkor az alkalmazott hőmérséklet és a nyomás nagyságrendekkel kisebb, a szárítási idő pedig jóval hosszabb, mint a konvekciós szárításnál, illetve az optimális anyagvastagság alkalmazásával csökkenthető a folyamat szárítási ideje.

A mérési eredmények – *Almási (1977)* és *Beke (1994)* által közölt matematikai egyenletek alkalmazásával – alapján megállapítottam, hogy a vákuum-fagyasztva szárítás energiaszükséglete a konvektív eljáráshoz képest nagyobb, mintegy 3,7-9,4-szerese.

A szárítás folyamatát leíró függvénykapcsolatokat elemezve megállapítottam, hogy a liofilizált gyümölcs- és zöldségminták szárítási görbéi matematikailag harmadfokú polinomokkal közelíthetők.

A szárítmányok kémiai összetevőinek vizsgálatát a magyar és európai szabvány által előírt analitikai módszerekkel végeztük el. Kimutattam, hogy a liofilizált minták esetében beltartalmi és táplálkozási értékcsökkenés kb. 10-30%-os volt, míg a konvektív

¹ Nyíregyházi Főiskola, Műszaki és Mezőgazdasági Kar, Jármű- és Mezőgazdasági Géptani Tanszék

módszerrel dehidrált anyagoknál a csökkenés az alkotókban elérte a 45-88%-ot a nyersanyag beltartalmi értékeihez képest.

Az analitikai elemzésekből megállapítottam, hogy a B- és C-vitaminok, továbbá a fehérjék hőérzékeny alkotók, viszont az E-vitamin, a flavonoidok kevésbé hőérzékenyek. A gyümölcssav-tartalomra, a szénhidrátra és az ásványi anyagra nem jellemző a hőérzékenység, mert a vízelvonást követően az összetevőkben növekedést regisztráltam.

A szárítmányok szilárdságának meghatározásához a Budapest Corvinus Egyetem kutatói által kifejlesztett MGA-1091 típusú elektronikus penetrométer jól alkalmazható, mely elsősorban gyümölcsök és zöldségek roncsolásmentes és kvázi roncsolásmentes állományvizsgálatára készült. Ezt az eljárást eddig még nem alkalmazták szárított mezőgazdasági anyagok felületi keménységének jellemzésére. A konvektív- és a vákuum-fagyasztva szárított anyagok keménységét vizsgálva, mérésekkel megállapítottam, hogy a hagyományos eljárással szárított zöldségek és gyümölcsök felülete legalább 1,42-9,11-szer keményebb a fagyasztva szárítottakénál.

Mérésekkel bizonyítottam, hogy a tárolás alatt a dehidrált anyagok rugalmassági tényezője változik (puhul-keményedik) a környezet relatív páratartalmának hatására.

A szárított kertészeti termékek visszanedvesítését *Tein et al.* (1998) által alkalmazott módszer szerint, meleg és forró nedvesítő közegben végeztem el. Megállapítottam, hogy a vákuum-fagyasztva szárított anyagok gyorsabban visszanedvesednek adott idő alatt, és nagyobb értékű visszanedvesedési mutatóval rendelkeznek, mint a konvektív szárítási módszerrel szárítottak. Kimutattam, hogy a fagyasztva szárított termékek, ellentétben a konvekciósan szárítottakéval, a rehidráció által az eredeti víztartalmukra állnak be.

A visszanedvesedési folyamat modelljének létrehozásához a vékonyrétegű terményszárítási elméletek közül a Lewis-féle félempirikus matematikai módszerét választottam, annak viszonylagos egyszerű matematikai háttere miatt. A Lewis elmélet módosításával (*Pappas et al.*, 1998; *Antal*, 2008) lehetőség nyílt arra, hogy a visszanedvesedés hatása is vizsgálható legyen vákuum-fagyasztva- és konvektív szárításnál, így a rehidrációs folyamat sokkal valóságghűbben írható le. Mérésekkel igazoltam, hogy a liofilizált anyagok magasabb értékű rehidrációs tényezővel (k_r) rendelkeznek, mint a hagyományos úton szárított anyagok. A k_r tényező tartományai konvektív módszerrel szárított anyagnál: 0,95-2,32 és liofilizált anyagnál: 1,39-3,09.

A szárítási folyamat alatt lejátszódó szövetszerkezeti változások megfigyelésével és elemzésével foglalkoztam. A preparátumok analizálása és rögzítése áteső fény elektromikroszkóppal történt. Az elkészült felvételek alapján megállapítottam, hogy a liofilizált termékek textúrája kevésbé roncsolódik, illetve a szárítási folyamat kisebb mértékben deformálja a sejtfalakat, mint a konvektív úton szárított anyagok szöveteit.

Hozzájárultam az alapkérdések megoldásához, a jobb minőségű, biztonságosabb és egészségesebb élelmiszerek előállításához a gyümölcs- és zöldségszárítmányoknál. Az ezzel kapcsolatos kutatási alapkérdések egyértelművé tételét és megoldását a vizsgálataim elősegítették. A kutatási eredmények egyfelől további kutatási irányokat és lehetőségeket alapoznak meg, másfelől pedig gyakorlati, technológiai fejlesztések kialakításához és megvalósításához járulnak hozzá.

8. SUMMARY

In my thesis I focused on the examination of the technological characteristics influencing the quality of the dried horticultural products – heat and mass transport, nutrient content, surface hardness, rehydration, tissue texture.

The main objective of my research was to analyse and simulate the change of the quality parameters formed during dehydration by comparing two known drying procedures, convective dehydration and lyophilisation.

Although the research of this field is insufficient and the methods are crude in the Hungarian literature, there are a lot of methods of quality characterization of dried products published in the relevant foreign literature which I described without striving for completeness. These methods constituted the basis for my research work. With regard to all these facts, it is relevant and important to deal with this field.

For the characterisation of the heat and material transport processes, the laboratory freeze-dryer found in the department² was equipped with a data recording system which consists of a weight measuring cell placed in the drying chamber, a signal processor and a software program. I revealed that the temperature and pressure applied during freeze drying is much smaller and the drying time is much longer than for the convection drying, and the drying time of the process can be reduced by the application of the optimal material thickness.

With the measuring results, applying the mathematic equations published by *Almási (1977)* and *Beke (1994)*, I proved that the power demand of vacuum freeze-drying is by 3.7-9.4 times as high as that of the convective method.

When analysing the function relationships demonstrating the process of the drying, I stated that the drying diagrams of lyophilised fruit and vegetable samples can be approximated with third-degree polynomials.

We performed the inspection of the chemical components of the dried products with the analytical methods specified by the Hungarian and European standard. I revealed that the reduction of nutrient contents and nutritional value was about 10-30% for the lyophilised samples, while the reduction in the components achieved 45-88% for the

²Department of Vehicle and Agricultural Engineering, Faculty of Engineering and Agriculture, College of Nyíregyháza

materials dehydrated with the convective method as compared to the nutrient contents of the raw material.

Out of the analytical tests I stated that vitamins B and C as well as proteins are heat-sensitive components, however, vitamin E and flavonoids are less sensitive to heat. The fruit acid, carbohydrate and mineral contents are not sensitive to heat since I recorded growth in these components after dehydration.

In order to define the strength of the dried products, the MGA-1091 type electronic penetrometer developed by the researchers of the Corvinus University of Budapest can be applied right well for the non-destructive and quasi non-destructive consistency test of fruits and vegetables. This method has not been used for the characterisation of the surface hardness of dried agricultural materials so far. When examining the hardness of the convection-dried and vacuum freeze-dried materials, I stated by measurements that the surface of the vegetables and fruits dried with the traditional method is at least 1.42-9.11 times as hard as that of the freeze-dried products.

I proved with measurements that during the storage the elasticity coefficient of dehydrated materials is changing (softening-hardening) under the effect of the relative humidity of the environment.

I performed the rehydration of dried horticultural products in accordance with the method applied by *Tein et al.* (1998), in warm and hot moistening agent. I revealed that vacuum freeze-dried materials rehydrate more quickly in a given time, and have greater rehydration coefficient than those dried with the convective drying method. I proved that, oppositely to the products dried with convection, the freeze-dried products reach their equilibrium at their original water content through rehydration.

In order to create the model of the rehydration process, out of the thin-layer product drying theories I selected *Lewis' (1921)* semi-empirical mathematic method because of its relatively simple mathematics background. Through the modification of the Lewis' theory (*Pappas et al., 1998; Antal, 2008*) it became possible to inspect the effect of rehydration for both the vacuum freeze-drying and convective drying procedures, so the rehydration process can be demonstrated much more truly. I confirmed with measurements that lyophilised materials have higher rehydration coefficient (k_r) than

traditionally-dried materials. The k_r coefficient comes into the following ranges: 0.95-2.32 for convectively dried material, 1.39-3.09 for lyophilised material.

I dealt with the monitoring and analyses of the textural changes taking place during the drying process. The specimens were analysed and recorded by means of a transmission electro-microscope. From the photos taken I revealed that for the lyophilised products the texture became less damaged and the cell walls were less deformed by the drying process than for the materials dried with convection method.

With regard to the dried fruits and vegetables, I contributed to the solution of the basic issues that is the production of higher-quality, safer and healthier foods. Through my tests performed, we could make the relevant basic issues of research clearer and bring the solution nearer. The research results serve as a basis for further research directions and possibilities as well as contribute to the development and implementation of technological projects in practice.

9. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK

Almási, E.: 1977. Fagyasztva szárítás (liofilezés). [In: Almási, E. (szerk.) Élelmiszerek gyorsfagyasztása.] Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 230-232, 284-291.

Alves-Filho, O. - Mujumdar, A. S.: 2004. Evolving and Conventional Drying Technologies – Statistics and Examination from the Energy and Overall Quality Standpoints. Topics in Heat & Mass Transfer. IWSID 2004. 171-182.

Alves-Filho, O. – Eikevik, T. – Mulet, A. – Garau, C. – Roselló, C.: 2006. Kinetics and mass transfer during atmospheric freeze drying of red pepper. Proceedings of the 15th International Drying Symposium, Budapest, Hungary, 20-23 August. 1315-1321.

Antal, T.: 2008. Gyümölcszárítványok egyes minőségi tulajdonságainak vizsgálata. Acta Agraria Debreceniensis. 30. 7-15.

Antal, T. – Kerekes, B. – Sinóros-Szabó, B.: 2009. Plant tests of Freeze drying equipment and operating experiences. Hungarian Agricultural Research. 18. 2-3. 17-20.

Apostol, J.: 2003. Cseresznye- és meggynevelés, a fontosabb fajták leírása. [In: Hrotkó, K. (szerk.) Cseresznye és meggy.] Mezőgazda Kiadó, Budapest, 74-77.

ARMFIELD LTD.: 2002. FT 33 vákuum fagyasztva szárító kézikönyv. 8. kiadás. 5-18.

Balla, Cs. - Horti, K.: 2007. Sous-vide termékek állományának és érzékszervi minőségének vizsgálata a hőkezelési paraméterek függvényében. [In: Balla, Cs., Siró, I. (szerk.) Élelmiszer-biztonság és –minőség II.] Mezőgazda Kiadó, Budapest, 177-183.

Beke, J.: 1994. A szárítókamra anyag- és hőmérlege. [In: Beke, J., Vas, A., Szabó, G. (szerk.) Hőtechnika a mezőgazdasági és az élelmiszeripari gépészetben.] Agroinform Kiadó és Nyomda, Budapest, 254-256.

Beke, J.: 1997. A szárítási folyamat elemzése. [In: Beke, J. (szerk.) Terményszárítás.] Agroinform, Budapest, 147-150.

Beke, J.: 2002. Fagyasztva szárítás. [In: Mujumdar, A. S., Beke, J. (szerk.) Gyakorlati szárítás.] Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 138-141.

Beke, J.: 2002. Liofilezés (fagyasztva szárítás). [In: Beke, Gy. (szerk.) Hűtőipari Kézikönyv. Alapismeretek.] Mezőgazda Kiadó, Budapest, 52-54.

Benton Jones, J. – Wolf, B. – Mills, H. A.: 1991. Plant Analysis Handbook, Micro-Macro Publishing, Inc, USA, 30-34.

Berki, F.: 1991. A száradási folyamat. [In: Szenes, E.-né, Oláh, M. (szerk.) Konzervipari kézikönyv.] Integra-Projekt Kft., Budapest, 221-223, 278-283.

Bíró, Gy. - Lindner, K.: 1995. Tápanyagtáblázat. Medicina Könyvkiadó, Budapest, 23-25.

Borsa, B. - Fekete, A. - Felföldi, J.: 2002. Kertészeti termékek mechanikai és minőségi jellemzői. Mezőgazdasági és gépesítési tanulmányok – FVM Műszaki Intézet közleménye. XLI. 2. 16-20.

Burits, O.: 1974. Liofilezés. Minőségellenőrzés és tárolás. [In: Burits, O., Berki, F. (szerk.) Zöldség- és gyümölcszsáritás] Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 250-252, 261.

Burits, O.: 1992. Gyümölcsök és zöldségek zsáritásának és aszalásának technológiája. [In: Szenes, E.-né (szerk.) Gyümölcsök és zöldségek zsáritása, aszalása.] Integra-Projekt, Budapest, 33-95.

Chang, C-H. - Lin, H-Y. - Chang, C-Y. - Liu, Y-C.: 2006. Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. Journal of Food Engineering, 77. 478-485.

Chenghai, X. - Zheng, W. - Wang, Z.: 2002. Experimental study of freeze-drying on rat skin. Proceedings of the 13th International Drying Symposium. Beijing, China, 27-30 August 2002. A. 739-742.

Clark, T. P.: 2004. Retractable window TM – „Down under”. Proceedings of the 14th International Drying Symposium, Sao Paulo, Brasil, 22-25 August. B. 813-820.

Dimény, J. - Helyes, L. - Pék, Z.: 2004. A főbb zöldségnövények biológiai sajátosságai, termesztési feltételei és technológiai eljárásai. [In: Dimény, I., Fenyvesi, L., Hajdú, J. (szerk.) Piactudatos zöldségtermelés.] FVM Mezőgazdasági Gépesítési Intézet, MGI Könyvek, Gödöllő, 81-141.

Emalog Elektronikai Kft.: 2006. PAB-01 platformcella adatlap. ES mérlegműszer általános leírás. Budapest, 1-4.

Emam-Djomeh, Z. – Nazemi, Sh. – Niakowsari, M. – Askari, G.: 2008. Combined effects of coating and microwave assisted hot air drying on kinetics of color changes of strawberry. 16th International Drying Symposium. 793-798.

Erdész, F.-né – Juhász, A.: 2004. A magyar zöldségtermelés piaci lehetőségei. [In: Dimény, I., Fenyvesi, L., Hajdú, J. (szerk.) Piactudatos zöldségtermelés.] FVM Mezőgazdasági Gépesítési Intézet, MGI Könyvek, Gödöllő, 23-25.

Erdélyi, B.: 2005. Aril- és aralkil-metil ketonok sztereoszelektív redukciója élesztőkkel. Doktori értekezésének tézisei, Corvinus Egyetem, Élelmiszertudományi Kar, Bp., 1-12.

Farkas, I. - Seres, I. - Balló, B.: 1996. Construction of a solar modular dryer. Drying'96, Proceedings of the 10th International Drying Symposium (IDS'96). Kraków, Poland, July 30 - August 2, 1996. Vol. A. 585-590.

Farkas, I.: 2004. Solar-drying of materials of biological origin. Chapter No. 13 of Dehydration of products of biological origin 2004. 317-368.

Farkas, J. - Földházi, P. - Harkay, T. - Korány, K.: 1990. Élelmiszer-analitika. Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem, Budapest, 99-100, 239-241.

Fekete, A. - Felföldi, J.: 1994. Firmness tester for fruits and vegetables. Acta Horticulture 386. 206-211.

Fekete, A. - Felföldi, J. - Deákvári, J.: 2001. Hordozható gyümölcs keménységmérő-műszer. Műszerügyi és Méréstechnikai közlemények, 37. 67: 57-62.

Fekete, A.: 2005. Fizikai jellemzők méréstechnikája. [In: Sitkei, Gy. (szerk.) A gyümölcs- és zöldségtermesztés műszaki vonatkozásai.] FVM Mezőgazdasági Gépesítési Intézet, Gödöllő, 121-140.

Felföldi, J. - Pátkai, Gy.: 2007. Minőségvizsgálatok és élelmiszerbiztonság. [In: Barta, J. (szerk.) A gyümölcsfeldolgozás technológiái.] Mezőgazda Kiadó, Budapest, 248-258.

Fenyvesi, L.: 2004. Mezőgazdasági termények sérülésvizsgálata. Akadémiai Kiadó, Budapest, 7-109.

Gasztonyi, K. - Lásztity, R.: 1992. Élelmiszer-kémia 1. Mezőgazda Kiadó, Bp., 23-390.

Gaware, T. J. - Sutar, N. - Thorat, B. N.: 2008. Drying of Tomato Using Different Drying Methods: Comparison of Drying Kinetics and Rehydration Ratio. 16th International Drying Symposium. 1427-1432.

Géczi, L.: 2003. Káposztafélék. Burgonyafélék. Hagymafélék. Kabakosok. Hüvelyesek. Gyökérzöldségfélék. [In: Piacos zöldségtermesztés.] Szaktudás kiadó ház, Budapest, 66-150.

Ginzburg, A. Sz.: 1976. Az energia- és nedvességátadás elméleti alapjai. [In: Élelmiszerek szárításelméletének és -technikájának alapjai.] Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 93-106.

Ginzburg, A. Sz.: 1979. A szárítástechnológiai általános elvei. [In: Az élelmiszerek szárítástechnológiája.] Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 9-33, 116-117.

Gulyás L.: 2003. Gyógynövények liofilezésének gyakorlati kérdései. 5. Magyar Szárítási Szimpózium. Szeged 2003. 61-62.

Gulyás L.: 2004. Gyógynövények liofilezésének gyakorlati kérdése. MTA-AMB 2004. évi XXVIII. Kutatási Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő. 3. 97-100.

Gulyás, L.: 2004. Experiences of the herbs lyophilizing. The 12th International conference and exhibition on mechanization of field experiments. IAMFE/RUSSIA, St. Petersburg 2004. 235-240.

Hajdú, J. - Jakovác, F.: 2004. Zöldségfélék szárítása. [In: Dimény, I., Fenyvesi, L., Hajdú, J. (szerk.) Piacudatos zöldségtermelés.] FVM Mezőgazdasági Gépesítési Intézet, Gödöllő, 216-221.

Hamami, C. - René, F.: 1997. Determination of Freeze-drying Process Variables for Strawberries. Journal of Food Engineering. 32. 133-154.

Harsányi, G. Zs.: 2005. Az Észak-Alföldi régió gyümölcsstermesztésének elemzése. Doktori értekezés, Debreceni Egyetem, Agrártudományi Centrum, Mezőgazdaságtudományi Kar, Debrecen, 45-48.

Hii, C. L. – Law, C. L. - Cloke, M. – Suzannah, S.: 2009: Thin layer drying kinetics of cocoa and dried product quality. *Biosystems Engineering*. 102 (2009). 153-161.

Hsu, K. – Kim, C. – Wilson, L. A.: 1983. Factors affecting water uptake of soybeans during soaking. *Cereal Chemistry*. 60. 208-211.

Imre, L.: 1974. A konvekciós hőközlésű szárítás koncentrált paraméterű leírása. [In: Imre, L. (szerk.) Szárítási kézikönyv.] Műszaki könyvkiadó, Budapest, 195-197.

Istella, S.: 2008. Korszerű eljárások a zöldségfélék tárolhatóságának előrejelzésére. Doktori értekezés, Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar, Budapest, 37-43.

Izsáki, Z.: 2005. Burgonya. [In: Antal, J. (szerk.) Gyökér- és gumós növények, Hüvelyesek, Olaj- és ipari növények] Mezőgazda Kiadó, Budapest, 51-54.

Jafar, F. – Farid, M.: 2003. Analysis of Heat and Mass Transfer in Freeze Drying. *Drying Technology*, 21. 2: 249-263.

Jankóné, F. J.: 2006. A fagyasztva szárítás. [In: Élelmiszeripari technológiák.] Egyetemi jegyzet, Szeged, 127-128.

Kar, A. – Chandra, P. – Prasad, R. – Samuel, D. V. K. – Khurdiya, D. S.: 2003. Comparison of different methods of drying for banana (dwarf cavendish) slices. *Journal of food science and technology*, 40. 4: 378-381.

Kerdpi boon, S. - Devahastin, S.: 2006. Use of fractal analysis to monitor physical property changes of biomaterials under various drying conditions. *Proceedings of the 15th International Drying Symposium*, Budapest, Hungary, 20-23 August. 547-553.

Kerekes, B. – Antal, T. – Sikolya, L. - Dinya, Z.: 2008. Different test results of some freeze-dried food products. *Proceedings of 16th International Drying Symposium (IDS 2008)*. Hyderabad, India, 9-11 November 2008. 1377-1381.

Komándi, Gy-né.: 1981. Terményszilárdsági vizsgálatok. [In: A kertészeti termények agrofizikai adatai.] Mezőgazdasági Könyvkiadó, Budapest, 52-63.

Krokida, M. K. - Marinos-Kouris, D.: 2002. Rehydration Kinetics of Dehydrated Products, *The Proceedings of the 13th International Drying Symposium*, Beijing, China, 27-30 August. B. 943-951.

Krokida, M. K. - Philippopoulos, C.: 2004. Volatiles and Quality Properties of Apple During Drying. *Topics in Heat & Mass Transfer. IWSID 2004*. 302-315.

Lásztity, R.: 1995. Az élelmiszeranalitika helyzete és várható fejlődési trendjei az EURO FOOD CHEM VIII. konferencia tükrében. Élelmiszervizsgálati Közlemények. 4. 273-278.

Lengyel, A.: 1995. Száradási folyamat. [In: Fábry, Gy. (szerk.) Élelmiszer-ipari eljárások és berendezések.] Mezőgazda Kiadó, Budapest, 540-542.

Lengyel, A. - Kerekes, B. - Borsos, Z. - Kiss, L.: 1995. Gyümölcsszáritmányok beltartalmi jellemzőinek alakulása különböző technológiai paramétereknél. 1. Magyar Száritási Szimpózium, Gödöllő. 1-8.

Lengyel, A.: 1997. Zöldség- és gyümölcsszáritás. [In: Beke, J. (szerk.) Terményszáritás.] Agroinform, Budapest, 307-335.

Lengyel, A.: 1997. Gyümölcsök száritási paramétereinek meghatározása, különös tekintettel a száritmányok minőségére. Kandidátusi Értekezés, Nyíregyháza, 23-97.

Lengyel, A. – Kerekes, B. – Sikolya, L.: 2000. Effect of the Drying Parameters for Changing of the Texture of Dried Fruits. Proceedings of the 12th International Drying Symposium IDS2000, Paper No. 249.

Lengyel, A. - Bodnár, G.: 2003. A meggy száritási jellemzőinek meghatározása. 5 Magyar Száritási Szimpózium. Szeged 2003. 96-102.

Lewicki, P. P. - Pawlak, G.: 2003. Drying on Microstructure of Plant Tissue. Drying Technology. 21. 662-680.

Lewicki, P. P. - Pawlak, G.: 2005. Effect of Mode of Drying on Microstructure of Potato. Drying Technology. 23. 847-869.

Lewis W. K.: 1921. The Rate of Drying of Solid Materials. Journal of Ind. Eng. Chem. 5. 427-432.

Lorentzen, J.: 1975. Freeze drying. Acad. Press, London, 42-44.

Marangoni, A. L. – Collares, F. P.: 2006. Effect of drying process by atomization and lyophilization in the properties of the instantaneity of yacon extract powder. 15th International Drying Symposium (IDS 2006). Budapest, Hungary, 20-23 August 2006. 1567-1571.

Marques, L. G. – Freire, J.T.: 2006. Analysis of Lyophilization as a Standard Drying Process for Food Quality Parameters: Study of Cases for Pineapple and Papaya. 15th International Drying Symposium (IDS 2006). Budapest, Hungary, 20-23 August 2006. 1705-1710.

Megyeri, J.: 2003. A sárgarépa vízelvonással történő száritási lehetőségei. Összefoglaló. 5. Magyar Száritási Szimpózium. Szeged 2003.

Mónus, B.: 1999. Integrált meggytermesztés. [In: Mónus, B. (szerk.) A meggy és a cseresznye integrált termesztése.] Primom Alapítvány, Nyíregyháza, 27-45.

Mujumdar, A. S.: 1987. Handbook of Industrial Drying. Marcel Dekker Inc., New York-Basel, 45-51.

Nyéki, J. - Pethő, F.: 1984. Az almafajták jellemzése. [In: Pethő, F. (szerk.) Alma] Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 103-109.

Orsovai, Á.: 2007. Ipari szennyvíz tisztításának hatásfoknövelése hozzáadott liofilizált baktériumkultúrával laboratóriumi modellrendszerben. ELTE TTK Budapest. Abstract.

Pappas, C. - Tsami, E. - Vlachopanagiotou, V. - Marinos-Kouris, D.: 1998. The rehydration kinetics of MW-Vacuum dehydrated fruits. The role of the process conditions. Proceedings of the 11th International Drying Symposium (Drying'98), B. 1115-1122.

Pethő, F.: 1984. Az almaültetvények létesítése. [In: Pethő, F. (szerk.) Alma] Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 24-43.

Péter, G.: 1998. Fagyasztva szárítási paraméterek hatása néhány mikroorganizmus túlélésére. PhD értekezés, Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem, Budapest, Abstract.

Raghavan, G. S. V. – Orsat, V.: 2006. Recent advances in drying of bio-materials for superior quality bio-products. Proceedings of the 15th International Drying Symposium, Budapest, Hungary, 20-23 August. 44-51.

Ratti, C.: 2001. Hot air and freeze-drying of high values foods: A review, Journal Food Engineering. 49. 311-319.

Rodriguez, R. - Lombrana, J. I. - Kamel, M. - de Elvira, C.: 2005. Kinetic and Quality Study of Mushroom Drying under Microwave and Vacuum. Drying Technology. 23. 2197-2213.

Sagara, Y. - Kaminishi, K. - Goto, E. - Watanabe, T. - Imayoshi, Y. - Iwabuchi, H.: 2005. Characteristic Evaluation for Volatile Components of Soluble Coffee Depending on Freeze-Drying Conditions. Drying Technology. 23. 2185-2196.

Sattler, K.: 1983. Fagyasztva szárítás. [In: Termikus elválasztási módszerek.] Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 225-227.

Shafiq Alam, Md. – Singh, A.: 2008. Response surface optimization of osmo-convective dewatering process for aonla fruit (*Phyllanthus emblica* L.). 16th International Drying Symposium, Hyderabad, India, 9-12 November. 1300-1308.

Shamaei, S. - Emam-Djomeh, Z.: 2008. Effect of Different Drying Methods on the Rehydration Characteristics of Mushroom. 16th International Drying Symposium, Hyderabad, India, 9-12 November. 1455-1459.

Siró, I.: 2007. Gyümölcsök táplálkozásbiológiailag előnyös összetevőinek analitikai vizsgálata. [In: Barta, J. (szerk.) A gyümölcsfeldolgozás technológiái.] Mezőgazda Kiadó, Budapest, 258-276.

Sitkei, Gy.: 1981. Mezőgazdasági anyagok víztárolása. [In: A mezőgazdasági anyagok mechanikája.] Akadémiai Kiadó, Budapest, 51-107.

Soltész, M.: 1997. Alma. Meggy. [In: Soltész, M. (szerk.) Integrált gyümölcsstermesztés.] Mezőgazda Kiadó, Budapest, 426-438., 620-626.

Soltész, M. – Szabó, T.: 1998. Alma. [In: Soltész, M. (szerk.) Gyümölcsfajta-ismeret és –használat.] Mezőgazda Kiadó, Budapest, 119-136.

Somos, A.: 1983. Zöldségtermesztés. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 45-47.

Surányi, D. – Erdős, Z.: 1998. Szilva. [In: Soltész, M. (szerk.) Gyümölcsfajta-ismeret és –használat.] Mezőgazda Kiadó, Budapest, 264-266.

Surányi, D.: 2003. A cseresznye és a meggy, valamint a rokon fajok botanikai leírása. [In: Hrotkó, K. (szerk.) Cseresznye és meggy.] Mezőgazda Kiadó, Budapest, 27-36.

Sutar, P. P. – Prasad, S. – Sutar, N. – Thorat, B. N.: 2008. Effect microwave power density and pressure on selected quality parameters of dehydrated carrots. 16th International Drying Symposium, Hyderabad, India, 9-12 November. 835-842.

Sváb, J.: 1981. Nem lineáris összefüggés vizsgálata. [In: Biometriai módszerek a kutatásban.] Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 350-356.

Szabó, G. - Rajkó, R. - Hodúr, C.: 2001. Csiperkegomba konvekciós és mikrohullámú szárításának összehasonlító vizsgálata. 4. Magyar Szárítási Szimpózium, Mosonmagyaróvár, 1-10.

Szabó, Z. - Imre, L. - Csernátorny-Hoffer, A.: 1974. Fagyasztva szárítás [In: Imre, L. (szerk.) Szárítási kézikönyv.] Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 997-1002.

Szabó, Z.: 1987. Fagyasztva szárítás. [In: Szabó, Z., Csury, I., Hidegkuti, Gy. (szerk.) Élelmiszeripari műveletek és gépek.] Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 559-565.

Szabó, Z.: 1997. Szilva. [In: Soltész, M. (szerk.) Integrált gyümölcsstermesztés.] Mezőgazda Kiadó, Budapest, 600-605.

Szabó, Z.: 2004. Csonthéjas gyümölcsfajok fagytűrése. Habilitációs Doktori előadások tézisei. Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum, Debrecen, 28-29.

Tambunan, A. H.: 2000. The optimal operating condition for an energy efficient freeze-drying process. Proceedings of the 12th International Drying Symposium IDS2000, Paper No. 205.

Tanács, L.: 2005. Gumós és gyökérnövények, Zöldségnövények, Gyümölcsfélék. [In: Élelmiszer-ipari nyersanyagismeret.] Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 103-160.

Tein, M. L. - Durance, T. D. - Scaman, C. H.: 1998. Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. Food Research International. 31. 2:111-117.

Teleki, L.: 2001. A fagyasztva szárítás az élelmiszeriparban. FVM Központi Élelmiszeripari Kutató Intézet, Budapest, 301. Tudományos Kollokvium. 274: 4.

Teleki, L. - Tömösy, L. - Balázs, T.: 2001. Adatgyűjtő rendszer fejlesztése fagyasztva szárítás kutatására. 4. Magyar Szárítási Szimpózium. Mosonmagyaróvár 2001.

Tello-Panduro, B. – Heredia-Baca, J. – Medina-Vivanco, M. – Mendieta-Taboada, O.: 2006. Rehydration of dehydrated tilapia fillets (*Oreochromis* sp.). Proceedings of the 15th International Drying Symposium, Budapest, Hungary, 20-23 August. 1591-1594.

Theplib, P. – Srzednicki, G. – Driscoll, R.: 2008. Effects of tunnel vs. heat pump drying on the quality of dried strawberries. 16th International Drying Symposium, Hyderabad, India, 9-12 November. 1535-1538.

Tomcsányi, P.: 1979. Gyümölcsfajtáink. Gyakorlati pomológia. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 69-74.

Tömösy, L.: 1981. Theoretical and experimental investigation of freeze drying I. Periodica Polytechnica, 1981, 25. 4: 391-407.

Tsuruta, T. - Hayashi, T.: 2006. Internal resistance of sea food in warm-air drying and microwave-vacuum drying. Proceedings of the 15th International Drying Symposium, Budapest, Hungary, 20-23 August. 1273-1277.

Urbányi, Gy.: 1991. A hőelvonás gyakorlata. [In: Szenes E.-né, Oláh, M. (szerk.) Konzervipari Kézikönyv.] Integra-Projekt, Budapest, 202-205.

Vadivambal, R. – Jayas, D. S.: 2007. Changes in quality of microwave-treated agricultural products – a review. Biosystems Engineering. 98 (2007). 1-16.

Van Soest, P. J. - Wine, R. H. : 1967. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell-wall constituents. Journal of the Association of Official Analytical Chemists. 50: 50-55.

Vas, A. - Beke, J.: 1980. Szemestermények beltartalmi és agrofizikai jellemzői, valamint a szárítás folyamat kapcsolata. ATE Közlemények, Gödöllő. 1-5.

Várszergi, T.: 1995. Fagyasztva szárítás (iofilezés). [In: Fábry, Gy. (szerk.) Élelmiszeripari eljárások és berendezések.] Mezőgazda Kiadó, Budapest, 601-607.

Várszegi, T.: 1997. Anyagátadási tartósítási műveletek minősége. [In: Az élelmiszeripari műveletek hatása a termék minőségére.] Gödöllő, 208-212.

Walde, P. M.: 2006. Step-up program for drying of cod (*Gadus Morhua*) fillets in a heat pump based try dryer. Proceedings of the 15th International Drying Symposium, Budapest, Hungary, 20-23 August. 1719-1722.

Wang, X. - Mao, Z.: 2002. Analysis of influencing factors on vacuum freeze drying of gingers, Drying' 2002-Proceedings, 13th International Drying Symposium, Beijing, China, August 27-30, 2002. A. 743-747.

Yousefi, Sh. – Emam-Djomeh, Z. – Mousavi, M. S.: 2008. The physicochemical properties of spray dried pomegranate powders. 16th International Drying Symposium, Hyderabad, India, 9-12 November. 1673-1679.

Zhang, M. – Duan, X. – Li, X. – Mujumdar, A. S.: 2006. Microwave freeze drying of sea cucumber coated with nanoscale silver. Proceedings of the 15th International Drying Symposium, Budapest, Hungary, 20-23 August. 1026-1033.

Zielinska, M. – Markowski, M.: 2008. Modelling of dehydration/rehydration kinetic of carrot cubes dried in a spout–fluidized bed drier. 16th International Drying Symposium, Hyderabad, India, 9-12 November. 1580-1587.

Szabványok jegyzéke

MSZ EN 1135-1995. Gyümölcs- és zöldséglevék. Hamutartalom meghatározás.

MSZ EN 12145. Gyümölcs- és zöldséglevék. Összes szárazanyag meghatározása. Gravimetriás módszer a szárítási tömegveszteség mérésével.

MSZ ISO 6557-2:1991. Tartósított élelmiszerek aszkorbinsav-tartalmának meghatározása titrimetriás és spektrometriás módszerrel.

MSZ ISO 750-2001. Gyümölcs- és zöldségtermékek. A titrálható savtartalom meghatározása.

MSZ 1385-1987. Élelmiszerek és élvezeti cikkek nitrogéntartalmának meghatározása.

MSZ 3625-1986. Tartósított élelmiszerek cukortartalmának meghatározása.

MSZ 6367/13-1982. Élelmezési, takarmányozási, ipari magvak és hántolt termények vizsgálata. Keményítőtartalom és egyes szénhidrátok meghatározása.

MSZ ISO 6491-1990. Takarmányok összes foszfortartalmának meghatározása.

MSZ 6830/20-29-1980. Takarmányok táplálóértékeinek megállapítása. Makro- és mikroelemek meghatározása.

MSZ 6830/4-1981. Takarmányok táplálóértékének megállapítása. Nyersfehérje-tartalom meghatározása.

MSZ 6830/6-1984. Takarmányok táplálóértékének megállapítása. Nyerszsírtartalom meghatározása.

MSZ 6830/37-1985. Takarmányok táplálóértékének megállapítása. E-vitamin tartalom meghatározása.

10. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN

Tudományos közlemény idegen nyelvű, hazai lektorált folyóiratban:

Kerekes, B. – Antal, T.: 2006. Drying methods of fruits and vegetables. Hungarian Agricultural Engineering. 19: pp 43-45. (ISSN 0864-7410)

Antal, T. – Kerekes, B. – Sinóros-Szabó, B.: 2009. Plant tests of Freeze drying equipment and operating experiences. Hungarian Agricultural Research. 18: pp 19-22. (ISSN 1216-4526)

Tudományos közlemény magyar nyelvű lektorált folyóiratban:

Antal, T. – Kerekes, B.: 2008. Szabolcsi meggyfajták vízelvonást követő minőségi jellemzőinek vizsgálata. Élelmezési Ipar. LXII. (12): pp 370-374. (ISSN 0013-5909)

Antal, T.: 2008. Gyümölcszárítmányok egyes minőségi tulajdonságainak vizsgálata. Acta Agraria Debreceniensis. 30: pp 7-15. (ISSN 1587-1282)

Antal, T. – Sinóros-Szabó, B. – Kerekes, B.- Lengyel, A.: 2009. Szublimációs szárítási eljárás technológiai jellemzőinek vizsgálata. Gép. 60. (12): pp 43-47. (ISSN 0016-8572)

Tudományos közlemény magyar nyelvű nem lektorált folyóiratban:

Antal, T. – Szöllősi, I.: 2008. Az almaszárítás energiafelhasználásának és minőségi paramétereinek összehasonlító vizsgálata. Mezőgazdasági Technika. XLIX. (5): pp 12-15. (ISSN 0026-1890)

Idegen nyelvű lektorált konferencia kiadvány:

Antal, T. – Kerekes, B.: 2005. Technological and Technical Aspects of Freeze Drying of Fruits and Vegetables. Innovation and Utility in the Visegrad Fours. Nyíregyháza, Hungary 13-15 October 2005, 3: pp 487-492. (ISBN 963-86918-2-4)

Antal, T. – Kerekes, B.: 2006. Freeze drying trials with some horticultural products. Proceedings of 15th International Drying Symposium (IDS 2006). Budapest, Hungary, 20-23 August 2006, pp 1361-1365. (ISBN 963-9483-58-3)

Antal, T. – Kerekes, B.: 2007. Establishment of a Data Processing System for Freeze Drier. VII. International Multidisciplinary Conference 7th Edition. BAIA MARE, 17-18 May 2007, 1: pp 33-38. (ISSN-1224-3264)

Kerekes, B. – Antal, T. – Sikolya, L. - Dinya, Z.: 2008. Different test results of some freeze-dried food products. Proceedings of 16th International Drying Symposium (IDS 2008). Hyderabad, India, 9-11 November 2008, pp 1377-1381. (ISBN 978-81-907371-2-8)

Antal, T. – Sikolya, L. – Kerekes, B.: 2009. Quality tests following dehydration of apple varieties from Nyírség region. VIII. International Multidisciplinary Conference 8th Edition. Nyíregyháza, 21-22 May, 2009, pp 25-30. (ISSN-1224-3264)

Antal, T. – Kerekes, B. – Tarek, M. – Szöllősi, I.: 2009. Comparative investigation of convective hot drying and freeze drying of root crops. SIPA'09, Proceedings of the 6th International Conference. Nyíregyháza, 12-14. November 2009, pp 141-148. (ISBN 978-973-638-449-3)

Kerekes, B. – Antal, T. – Sikolya, L.: 2009. Quality characteristics following dehydration of apple varieties from Szabolcs county. SIPA'09, Proceedings of the 6th International Conference. Nyíregyháza, 12-14. November 2009, pp 61-66. (ISBN 978-973-638-449-3)

Idegen nyelvű nem lektorált konferencia kiadvány:

Antal, T. – Kerekes, B. – Sikolya, L.: 2009. Drying and Quality Tests of Some Regional Fruits and Vegetables. Proceedings of the 4th Nordic Drying Conference (NDC 2009). Reykjavik, Iceland, 17-19. June 2009. (ISBN 978-82-594-3406-7, CD)

Magyar nyelvű lektorált konferencia kiadvány:

Antal, T.: 2005. Gabonaszárítók hőtechnikai méretezése és felújítása. Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Tudományos Közalapítvány Füzetek 21. Nyíregyháza. pp 493-498. (ISBN 963-218-743-1)

Antal, T.: 2007. Szárított zöldségfélék keménységének vizsgálata elektronikus penetrométerrel. Erdei Ferenc IV. Tudományos Konferencia. Kecskemét, 2007. augusztus 27-28., pp 709-712. (ISBN 978-963-7294-65-5)

Antal, T.: 2007. Dehidratált zöldségfélék penetrációs vizsgálatai. Versenyképes mezőgazdaság Konferencia kiadványa. Nyíregyháza, 2007. november 29., pp 93-96. (ISBN 978-963-7336-80-5)

Antal, T.: 2008. Szabolcsi meggyfajták dehidrálni tapasztalatai. II. Nyíregyházi Doktorandusz Konferencia. Nyíregyháza, NYF MMFK, 2008. november 21., pp 207-216. (ISBN 978-963-9909-19-9)

Magyar nyelvű nem lektorált konferencia kiadvány

Kerekes, B. – Antal, T.: 2006. Zöldségek fagyasztva szárításának gyakorlati vizsgálata. MTA Agrár Műszaki Bizottság, XXX. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás. Gödöllő. 2: pp 239-243. (ISBN 963-611-440-4)

Antal, T.: 2006. A szárítástechnika szerepe a minőségi zöldségszáritmányok előállításában. VII. RODOSZ Tudományos Konferencia. Románia, Kolozsvár, 2006. április 7-8., pp 10-19. (ISBN 973-26-0801-3)

Antal, T. – Kerekes, B.: 2007. Szárított gyümölcsök összehasonlító vizsgálata. MTA Agrár Műszaki Bizottság, XXXI. Tematikus Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás. Gödöllő. 2: pp 163-167. (ISBN 978-963-611-445-9)

Antal, T. – Kerekes, B. – Varga, Cs.: 2007. Gyümölcsök fagyasztva szárítási kísérletei. 6. Magyar Szárítási Szimpózium. Nyíregyháza, 2007. november 22-23. (ISBN 978-693-7336-79-9, CD)

Kerekes, B. – Dinya, Z. – Antal, T.: 2007. A dohánylevél fagyasztva szárítása. 6. Magyar Szárítási Szimpózium. Nyíregyháza, 2007. november 22-23. (ISBN 978-693-7336-79-9, CD)

A kutatási témához közvetlenül nem kapcsolódó publikációk

Idegen nyelvű lektorált konferencia kiadvány:

Kerkes, B. – Antal, T.: 2005. Innovation in Tobacco Curing. Innovation and Utility in the Visegrad Fours. Volume 3. Agricultural and Mechanical Engineering. Nyíregyháza, Hungary October 13-15. 3: pp. 535-540. (ISBN 963-86918-1-6)

Magyar nyelvű lektorált konferencia kiadvány:

Szőllősi, I. – Antal, T.: 2008. Parlagoltatásos, zöld- és istállótrágyázásos vetésforgók összehasonlítása a talajtömörödöttség tükrében. Talajtani Vándorgyűlés. Nyíregyháza, 2008. május 28-29, pp 169-174. (ISBN 978-963-9909-03-8)

Könyv, könyvrészlet:

Szőllősi, I. – Antal, T.: 2007. Földünk és hazánk vízkészlete és állapota. [In: Kerekes, B. (szerk.) A környezetvédelem technikai alapjai. II. Vízelézés és talajvédelem.] Bes-senyei György Könyvkiadó, Nyíregyháza, pp 11-22. (ISBN 978-963-7336-77-5)

11. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Mindenek előtt kifejezném köszönetemet a Kerpely Kálmán Doktori Iskolának, illetve az iskola vezetőjének Nagy János professzor Úrnak, hogy szakmailag és emberileg jó légkört biztosított a doktori dolgozatom elkészítéséhez.

Ezúton szeretném köszönetemet kifejezni témavezetőmnek, Sinóros-Szabó Botond professzor Úrnak, aki hasznos tanácsaival és útmutatásaival mindig készségesen segítette a doktori munkámat.

Köszönettel tartozom továbbá 'tanítómesteremnek', Kerekes Benedek professzor Úrnak, azért a sok fáradságért, anyagi támogatásáért és nem utolsó sorban a lelki támaszáért, amit az oktatói-kutatói munkám során tapasztaltam.

Hálásan köszönöm tanszékvezetőmnek, Lengyel Antal tanár Úrnak, aki a kéziratot kritikus és segítő szándékkal nézte át, az észrevételeit és javaslatait hasznosítottam.

Köszönöm a dolgozat bírálóinak – Soltész Miklós professzor Úr és Grasselli Gábor tanár Úr – javaslatait és kiigazításait, melyeket teljes mértékben alkalmaztam a disszertációm javításánál.

Szeretném megköszönni Dinya Zoltán professzor Úrnak és Mohamed Tareknek a tartalmi adatok feldolgozásában nyújtott közreműködését.

Külön köszönettel tartozom a Jármű- és Mezőgazdasági Géptani Tanszék műhelyeiben dolgozó szakembereknek, – Cservénák Mihálynak, Nyíri Zsoltnak – amiért segítettek az adatgyűjtő rendszer elkészítésében, és a mérések végrehajtásában.

Köszönöm továbbá Kulcsár Sándornak az üzemi vizsgálatok elvégzésében nyújtott együttműködő segítségét.

Köszönet illeti nem utolsó sorban a családomat, akik türelmesen viselték, hogy szabadidőm nagy részét a dolgozat megírásával töltöttem.

MELLÉKLET

1. melléklet. A vizsgálatba bevont almafajták



'Naményi Jonathan' (Forrás: Szabó T.)



'Idared' (Forrás: Szabó T.)

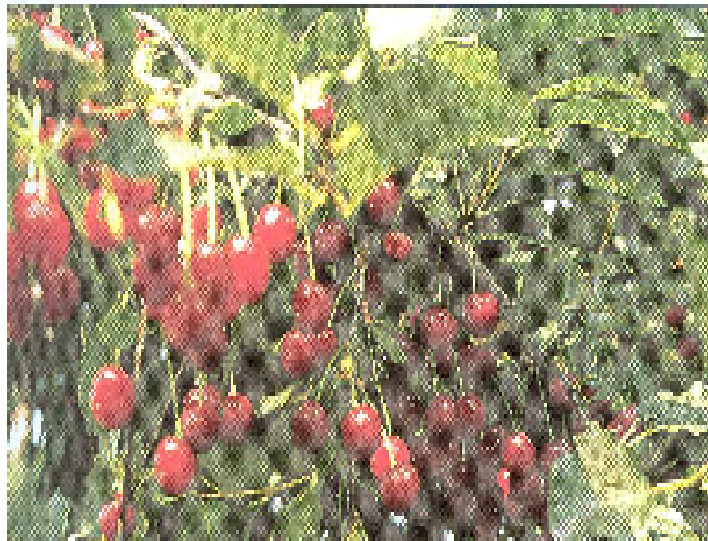


'Jonagold' (Forrás: Szabó T.)



'Golden Delicious' (Forrás: Szabó T.)

2. melléklet. A vizsgálatba bevont meggyfajták



'Újfehértói fürtös' (Forrás: Szabó T.)

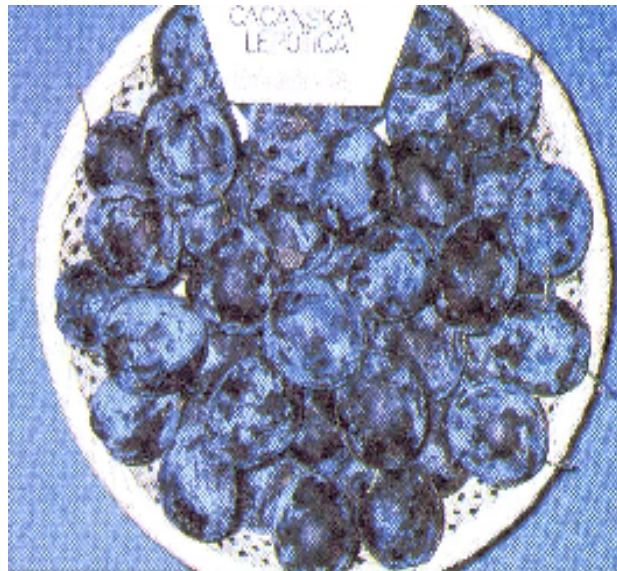


'Kántorjánosi 3' (Forrás: Szabó T.)



'Cigánymeggy 7' (Forrás: Apostol J.)

3. melléklet. A vizsgálatba bevont szilvafajták



'Cacanska leptica' (Forrás: Erdős Z.)



'Cacanska rana' (Forrás: saját felvétel)



'President' (Forrás: Erdős Z.)

4. melléklet. Gyümölcsök kémiai összetétele (100 g anyagra vonatkoztatva)

Megnevezés	Alma	Meggy	Szilva	Banán
<i>Általános adatok</i>				
Víz [%]	90,5	85,9	84,7	73,1
Energia [kJ]	130	218	244	441
Fehérje [%]	0,4	0,8	0,7	1,3
Sav [%]	0,4	1,4	0,5	0,1
Szénhidrát [%]	7	11	13,1	24,2
Nyersrost [%]	1,3	0,3	0,5	0,4
<i>Vitaminok</i>				
Karotin [mg/100g]	0,05	0,3	0,2	0,2
Tokoferol [mg/100g]	0,6	-	0,8	0,2
B ₁ -vitamin [μg/100g]	50	50	50	160
B ₂ -vitamin [μg/100g]	50	20	20	80
B ₆ -vitamin [mg/100g]	0,07	0,05	0,04	0,25
C-vitamin [mg/100g]	5	10	6	10
<i>Ásványi anyagok</i>				
K [mg/100g]	112	186	240	500
Ca [mg/100g]	5,5	31,3	16	110
Mg [mg/100g]	6	15	16	60
Fe [mg/100g]	0,3	0,6	0,2	0,3
P [mg/100g]	8	50	30	94
Cu [mg/100g]	0,03	0,06	0,03	0,09
Zn [mg/100g]	0,05	0,14	0,07	0,19

Forrás: Bíró és Lindner, 1995.

Meggyfajták gyümölcsének fontosabb tulajdonságai

Fajta neve	Gyümölcs átmérő [mm]	Gyümölcs tömeg [g]	Alak	Héjszín	Hús ke- ménység	Mag/hús arány [%]
Cigánymeggy 404	14-16	3	gömbölyű	sötétbordó	félkemény	6-7
Cigánymeggy 7	18-20	4	gömbölyű	sötétbordó	félkemény	6-7
Cigánymeggy 59	18-20	4	gömbölyű	sötétbordó	félkemény	6-7
Kántorjánosi	22-23	5,3	nyomott gömb	bordópiros	kemény	8-10
Újfehértói fürtös	18-23	5	lapított gömb	fénylő bordó	középkemény	8-10

Forrás: Apostol, 2003.

5. melléklet. Zöldségek jellemző anyagai (100 g anyagra vonatkoztatva)

Megnevezés	Víz [%]	Energia [kJ]	Fehérje [%]	Szénhidrát [%]	Zsír [%]	Rost [%]	C-vitamin [mg/100g]	Ca [mg/100g]	P [mg/100g]	Mg [mg/100g]
Brokkoli	90,7	100	3,3	2,1	0,2	0,8	100	30	66	25
Burgonya	75,7	395	2,5	20	0,2	0,5	20	7	100	28
Cékla	84,5	126	1,3	5,9	0,1	0,9	4	n.a.	n.a.	n.a.
Karalábé	91	164	2,1	6,9	0,2	0,8	70	43	46	24
Kukorica	75,9	531	4,7	23,6	1,6	1,5	6,8	2	89	37
Paradicsom	93,7	97	1	4	0,2	0,5	25	9	24	7
Petrezselyem	87,7	121	1,2	5,9	0,1	1,2	133	138	58	50
Sárgarépa	87,8	168	1,2	8,1	0,2	1	3	28	44	35
Sütőtök	91,6	336	1,5	16,5	0,6	0,7	25	40	44	12
Torma	74,5	328	2,7	15,9	0,4	8,3	25	7	40	11
Vöröshagyma	89,5	168	1,2	8,3	0,1	0,7	10	30	n.a.	9
Zöldborsó	78,6	378	7	14	4	2,7	20	41	108	42

Forrás: Bíró és Lindner, 1995.

6. melléklet. Az adatgyűjtő rendszer részegységeinek műszaki adatai

EMALOG PAB-01 platformcella technikai adatai

Megnevezés	Adat
<i>Általános adatok</i>	
Anyaga	alumínium
Védettség	IP67
Névleges terhelhetőség	5 kg
Biztonságos túlterhelés	150% (FS)
Külső méretei	250×350 mm
Kimenő jel	2 mV/V
Tápfeszültség	5-10 V
<i>Kalibrációs adatok</i>	
Bemeneti ellenállás	350 ohm
Kimeneti ellenállás	406 ohm
Zéró kiegyenlítés hibája	<1% (FS)
Kombinált hiba	<0,02 %
Működési hőmérséklet-tartomány	-45 - +80 °C
Kúszás	<0,01%/30min
Linearitás hibája	<0,01% (FS)
Hiszterézis	<0,01% (FS)
Ismétlőképesség hibája	<0,01% (FS)

Megjegyzés: - Az FS a névleges terhelést jelenti.

(Forrás: Katalógus adatok, Emalog, 2006)

ES-138 típusú mikroprocesszor alapú mérlegműszer technikai adatai

Megnevezés	Adat
------------	------

<i>Általános adatok</i>	
Osztálypontosság	III
Mérete	170×70×105 mm
Kijelzés	7 digités LED kijelző
Mértékegységek	kg, g, font, gramm, uncia
Nyomtató	mikroprinter
Tápfeszültség	6 – 9 V
Mérlegcella	350 ohm
Soros adatátviteli port	RS232
Tára	100 % (FS)
Megengedett relatív páratartalom	<90%
Üzemeltetési hőmérséklet	0 - +40 °C

Megjegyzés: - Az FS a névleges terhelést jelenti.

(Forrás: Katalógus adatok, Emalog, 2006)

7. melléklet. Az üzemi szublimációs szárítóberendezés fontosabb műszaki jellemzői

Megnevezés	Adat
<i>Szublimációs szárító</i>	
Külső méretek	11×8×3 m
A berendezés tömege	12 t
Munkakamrák száma	2 db
Munkapolcok általános felülete	11 m ²
Munkapolcok méretei	1,05×0,83 m
Munkapolcok száma	12×2 db
A berendezés termelékenysége	160 kg×2/ciklus
A polcok minimális hőmérséklete	-60 °C
A polcok maximális hőmérséklete	+75 °C
Kondenzátor minimális hőmérséklete	-100 °C
Kondenzátor jégmennyiség befogadása	400 kg
A szublimációs nyomás határértékei	3000 Pa – 6 Pa
<i>Lég-turbóhűtő</i>	
Külső méretei	4,955×2,58×2,445 m
A berendezés tömege	4,8 t
Igényelt teljesítmény	110 kW
A berendezés tápfeszültsége	380/220 V
A hálózati frekvencia	50 Hz
A villanymotor tengelyfordulatszáma	3000 1/min
Hideglevegő-fogyasztás	3400 kg/h
Az előállított levegő hőmérséklete	120 – 130 °C

(Forrás: Antal et al., 2009)

8. melléklet. PRECISA HA 60 típusú nedvességmérő technikai adatai

Megnevezés	Adat
<i>Általános adatok</i>	
Teljesítmény	410 W
Külső méretei	240×245×270 mm
Tömege	7,1 kg
Soros adatátviteli port	RS232
Alumínium mintatartók	30 db
<i>Méréstartomány</i>	
Anyag-nedvességtartalom	0-100%
Tömeg	0,001-60 g
Hőmérséklet	40-250 °C
Detektálási idő	1-200 min
Mértékegységek	g , mg, GN, dwt, oz, lb

(Forrás: gyári adatok)

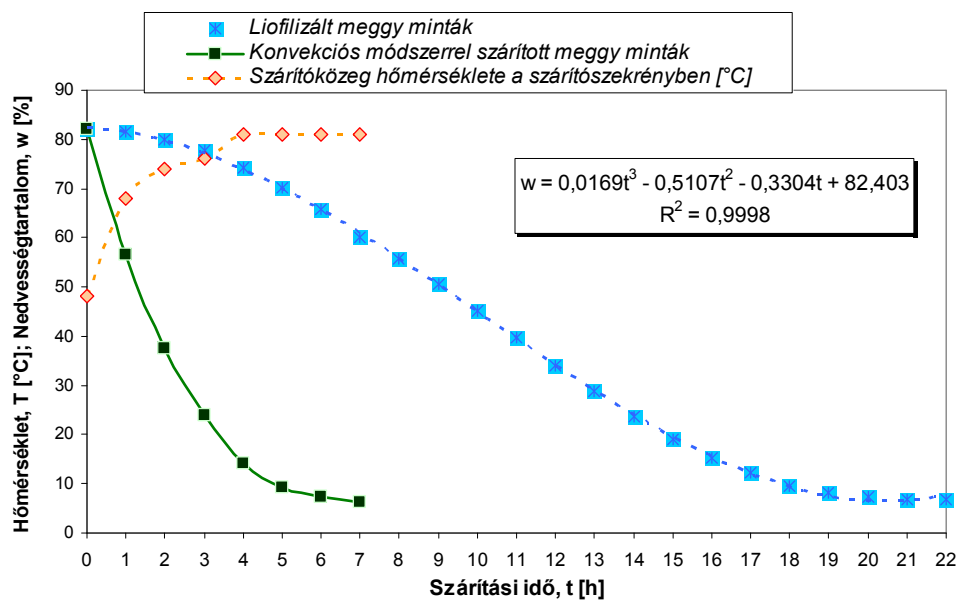
9. melléklet. TESTO 4510 mérőkészülék technikai adatai

Megnevezés	Adat
<i>Hőmérsékletmérő</i>	
Műszer anyaga	NiCr-Ni
Méréstartomány	-200 – 600 °C
Pontosság	±0,3 °C
<i>Szélesség-mérő</i>	
Műszer anyaga	NiCr-Ni
Méréstartomány	0,4 – 60 m/s; -30 - 140 °C
Pontosság	±0,4 m/s
<i>Relatív páratartalom-mérő</i>	
Műszer anyaga	Kapacitív
Méréstartomány	0 – 100%
Pontosság	±2 %

(Forrás: gyári adatok)

10. melléklet. Gyümölcs- és zöldségfélék szárítási görbéje

A meggyfajták ('Újfehértói fürtös', 'Kántorjánosi 3', 'Cigánymeggy') mintáinak egyidejű szárítását az alábbi ábra ismerteti.



A konvektív és vákuum-fagyasztva szárított minták szárítási görbéje
a meggyfajtáknál

A meggyfajták szárítási paramétereit:

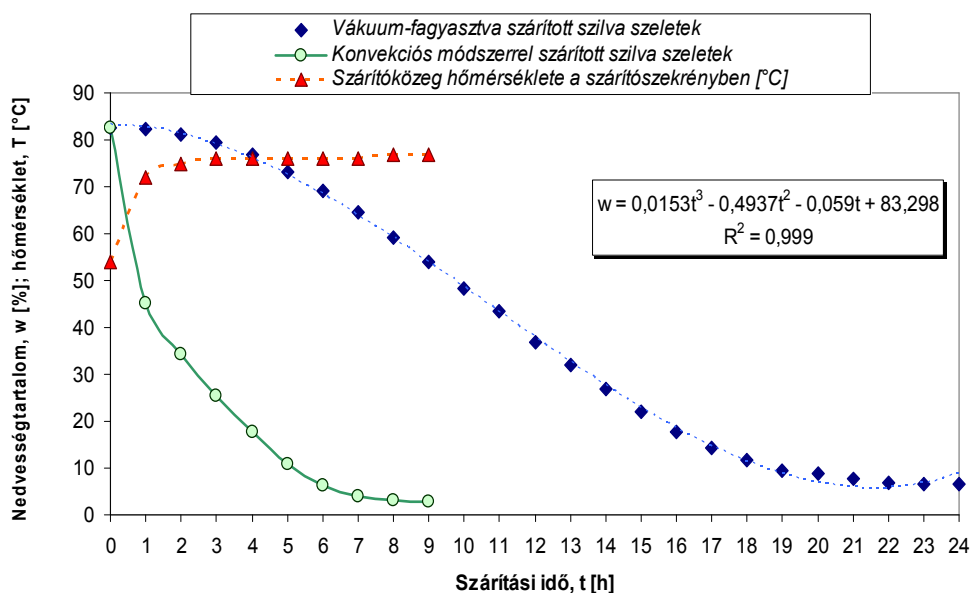
	Konvektív szárítás	Vákuum-fagyasztva szárítás
A nyersanyag nedvességtartalma:	81,44%	81,44%
A szárítmány nedvességtartalma:	7,4%	6,9%
Szárítási sebesség:	10,57%/h	3,38%/h
Szárítási idő:	7 h	22 h

Szárítólevegő hőmérséklete:	81 °C	-
Légsebesség:	1,1 m/s	-

A szilvafajták ('Cacanska leptica', 'Cacanska rana', 'President') mintáinak egyidejű szárítását a következő ábrán figyelhetjük meg.

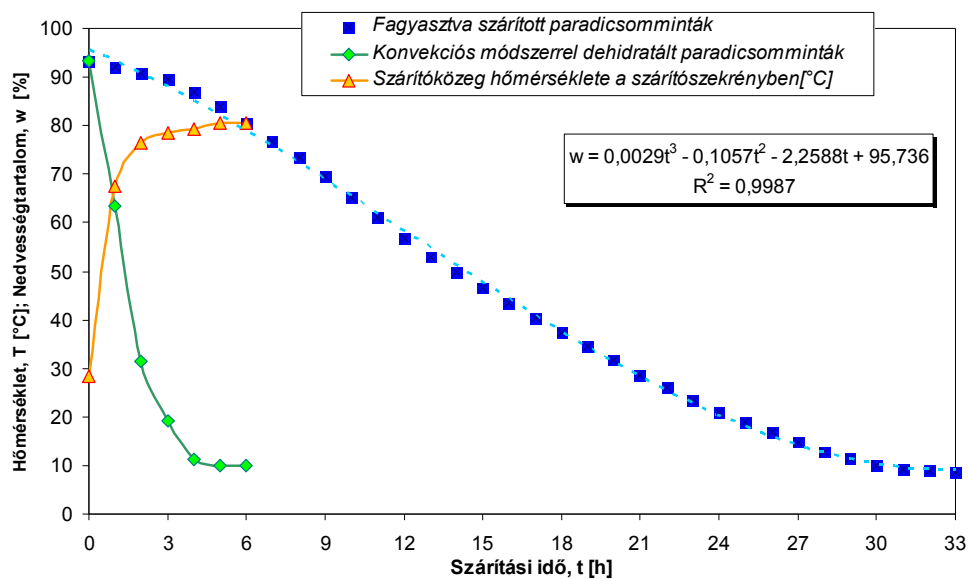
A szárítási paraméterek:

	Konvektív szárítás	Vákuum-fagyasztva szárítás
A nyersanyag nedvességtartalma:	82,71%	82,71%
A szárítmány nedvességtartalma:	2,75%	6,62%
Szárítási sebesség:	8,88%/h	3,17%/h
Szárítási idő:	9 h	24 h
Szárítólevegő hőmérséklete:	76 °C	-
Légsebesség:	1,1 m/s	-



A konvektív és vákuum-fagyasztva szárított gyümölcsszeletek szárítási görbéje a szilva-fajtáknál

Az alábbi ábra a paradicsom ('Brillante') minták szárítási görbét ábrázolja.



A konvektív és vákuum-fagyasztva szárított paradicsomminták szárítási görbéje

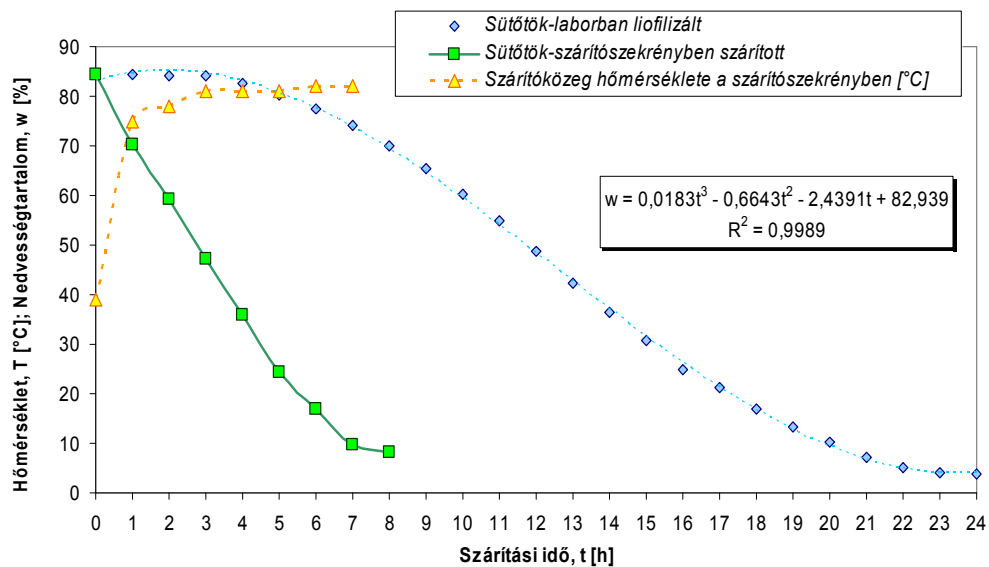
A paradicsom dehidráálásánál alkalmazott szárítási paraméterek:

	Konvektív szárítás	Vákuum-fagyasztva szárítás
A nyersanyag nedvességtartalma:	93,4%	93,4%
A szárítmány nedvességtartalma:	9,9%	8,8%
Szárítási sebesség:	13,91%/h	2,56%/h
Szárítási idő:	6 h	33 h
Szárítólevegő hőmérséklete:	80 °C	-
Légsebesség:	1,7 m/s	-

A sütőtök ('Nagydobosi') minták szárítási görbéjét a következő ábra szemlélteti.

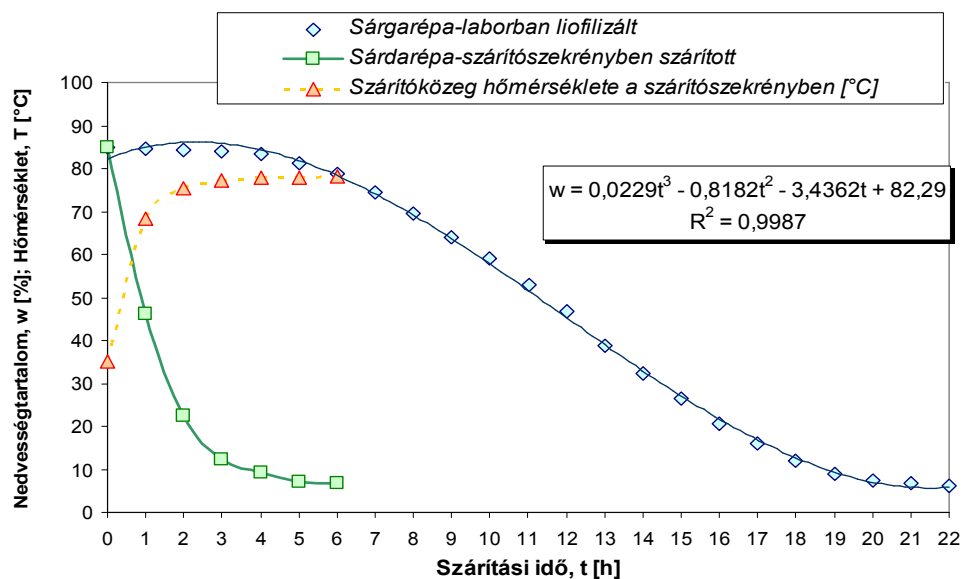
A sütőtök szárítási paraméterei:

	Konvektív szárítás	Vákuum-fagyasztva szárítás
A nyersanyag nedvességtartalma:	84,44%	84,44%
A szárítmány nedvességtartalma:	8,12%	3,8%
Szárítási sebesség:	9,54%/h	3,36%/h
Szárítási idő:	8 h	24 h
Szárítólevegő hőmérséklete:	81 °C	-
Légsebesség:	1,5 m/s	-



A konvektív és vákuum-fagyasztva szárított sütőtökminták szárítási görbéje

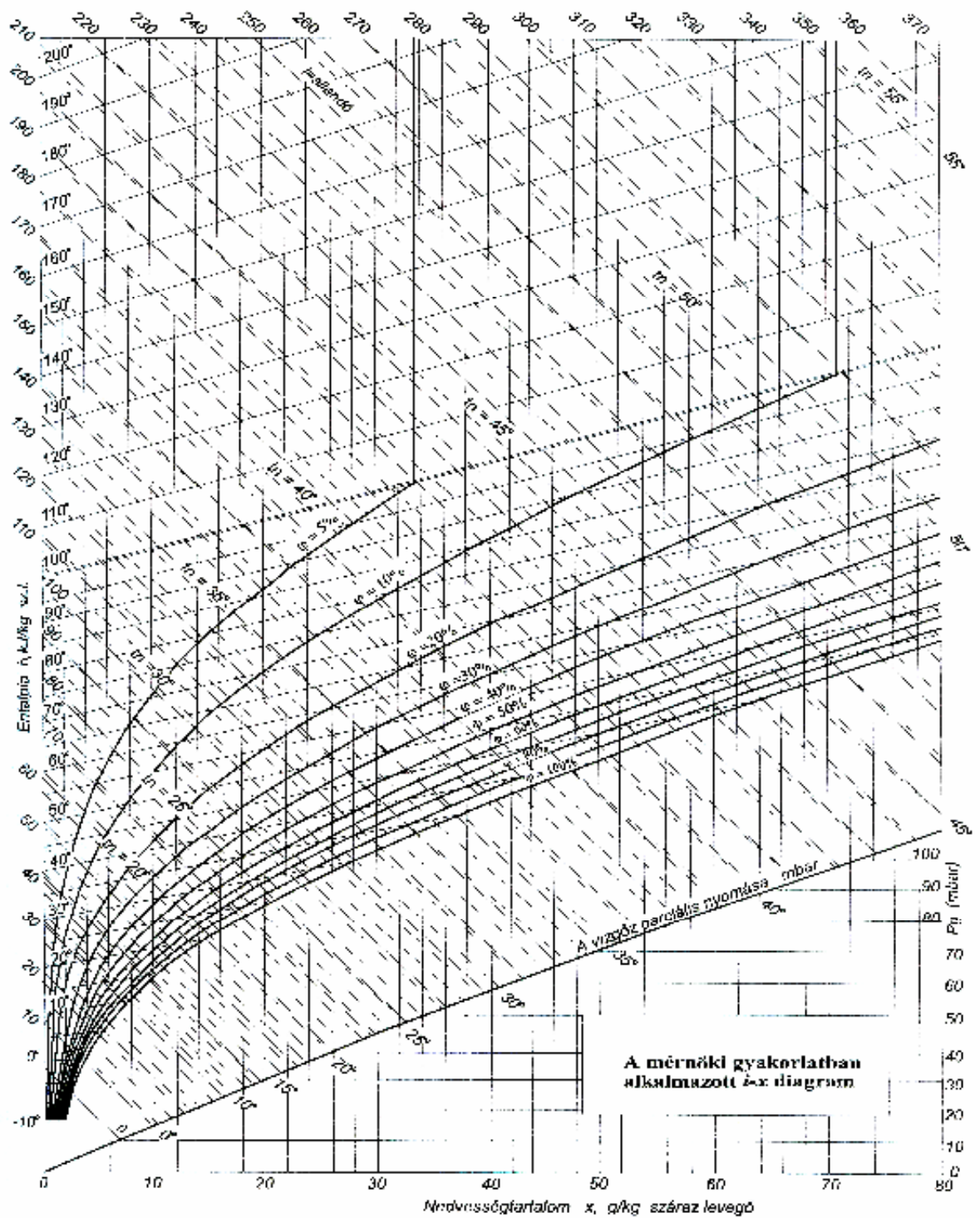
A konvektív és fagyasztva szárítással dehidrált sárgarépa ('Vörös óriás') minták szárítási görbéjét az alábbi ábrán láthatjuk.



A konvektív és vákuum-fagyasztva szárított sárgarépa szeletek szárítási görbéje
A szárítási paraméterek sárgarépa esetében:

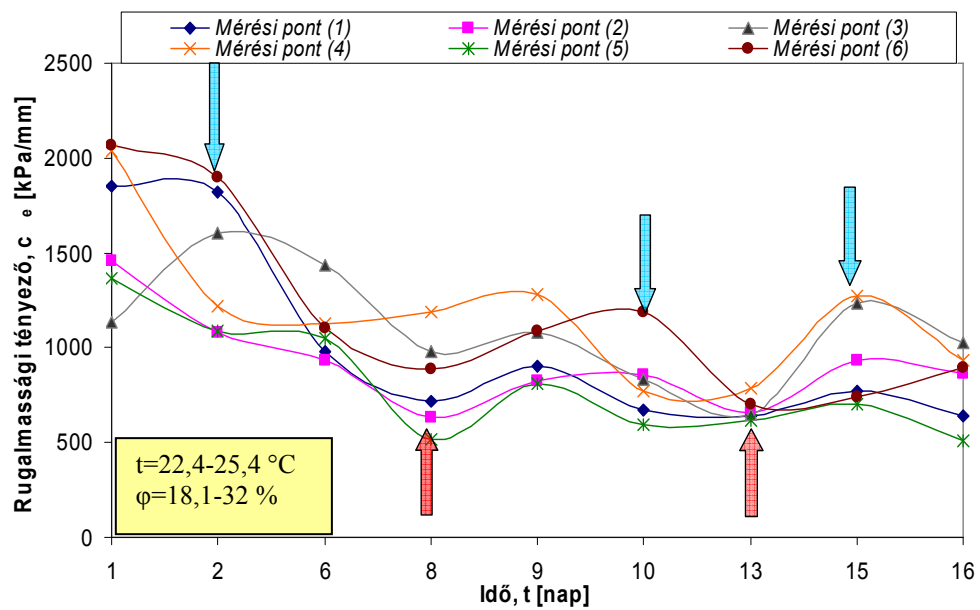
	Konvektív szárítás	Vákuum-fagyasztva szárítás
A nyersanyag nedvességtartalma:	84,93%	84,93%
A szárítmány nedvességtartalma:	6,62%	6,17%
Szárítási sebesség:	13,05%/h	3,58%/h
Szárítási idő:	6 h	22 h
Szárítólevegő hőmérséklete:	78 °C	-
Légsebesség:	1,3 m/s	-

11. melléklet. A műszaki gyakorlatban használt h-x diagram

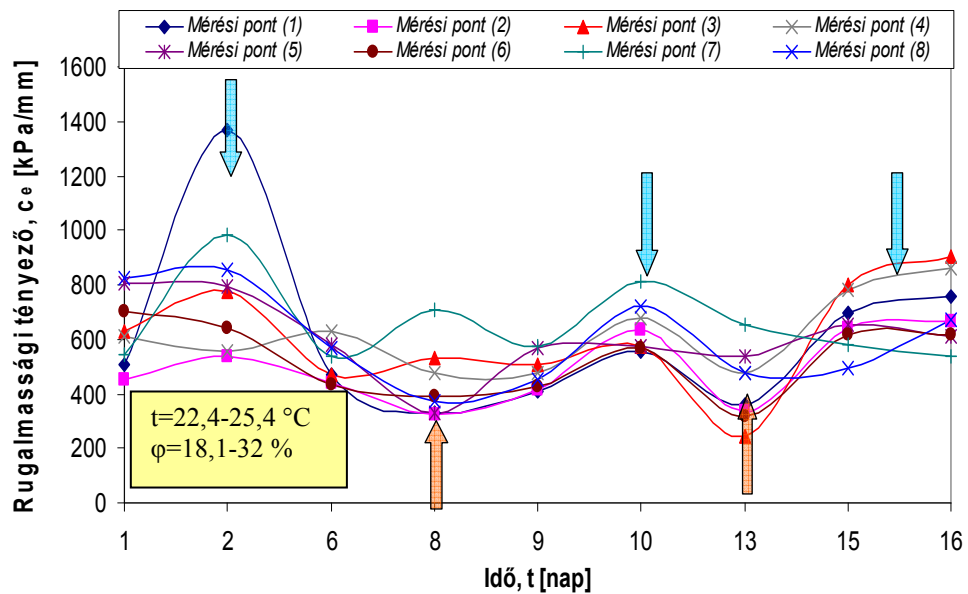


Forrás: Beke, 1997.

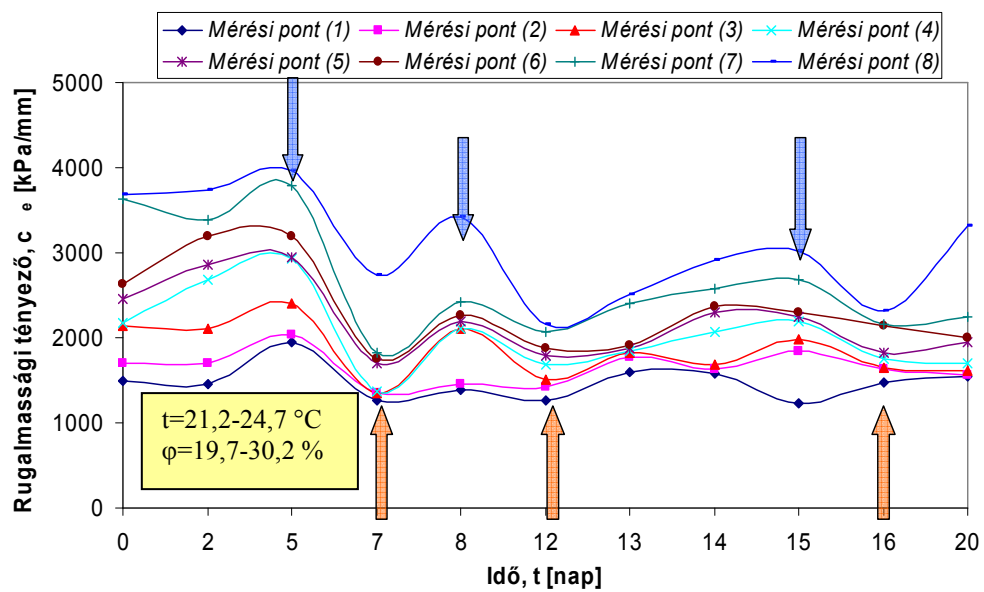
12. melléklet. Dehidrált gyümölcsfajták állományváltozása a tárolás alatt



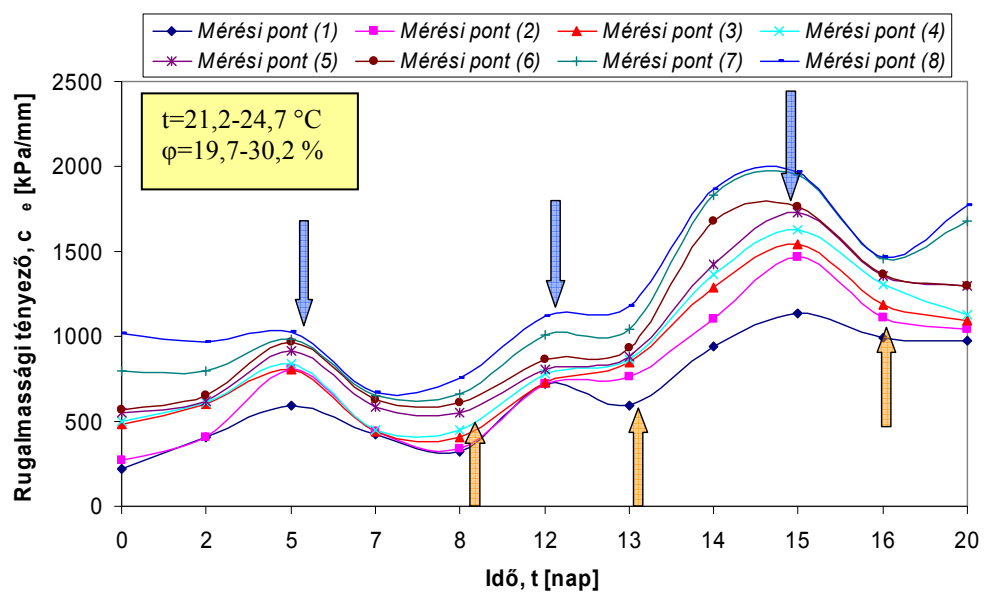
Konvekciós módszerrel szárított 'Idared' almafajta minták felületi keménységének változása a tárolási idő függvényében



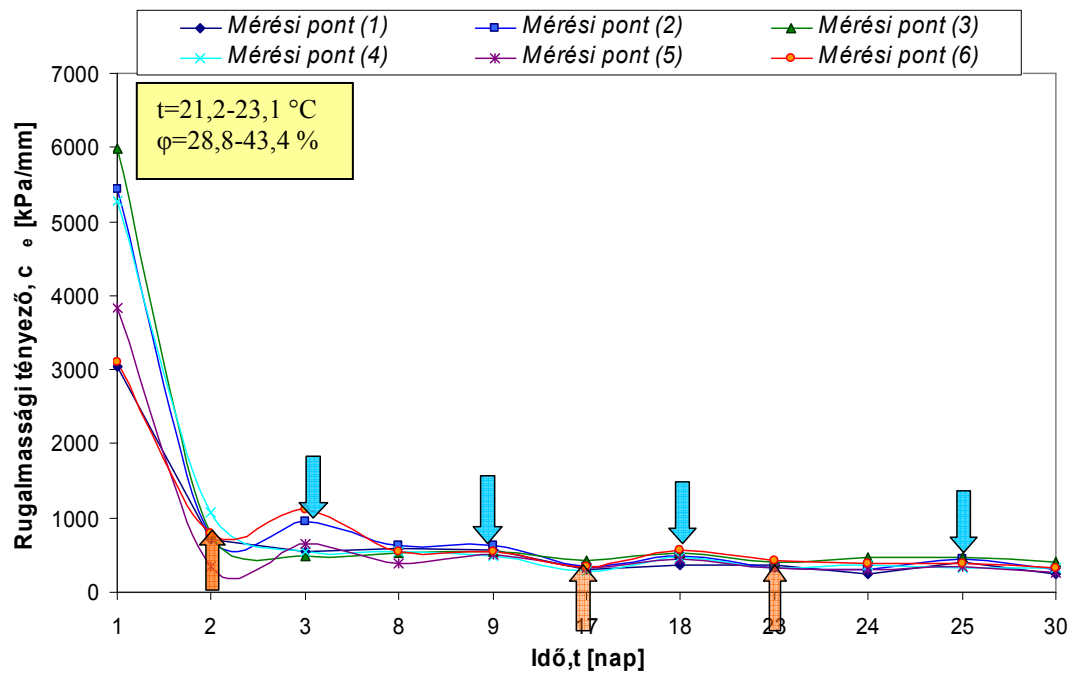
Liofilizált 'Idared' almafajta minták felületi keménységének változása a tárolási idő függvényében



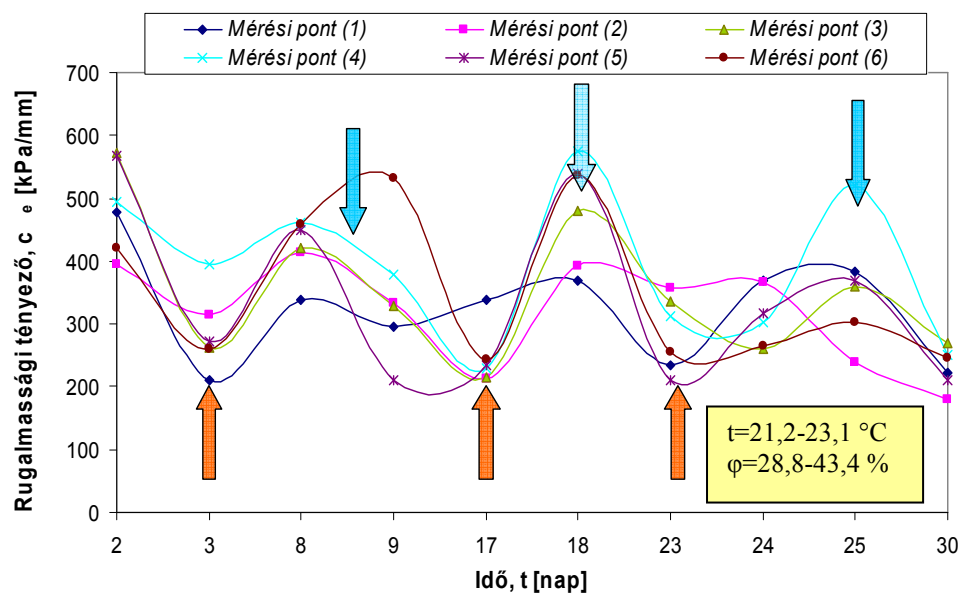
Konvekciós módszerrel szárított 'Jonagold' almafajta minták felületi keménységének változása a tárolási idő függvényében



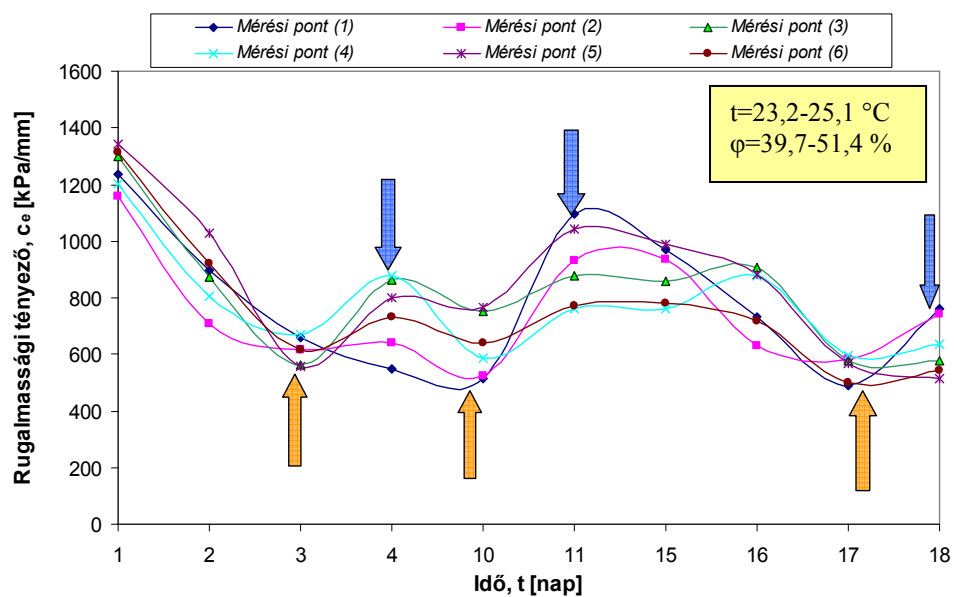
Liofilizált 'Jonagold' almafajta minták felületi keménységének változása a tárolási idő függvényében



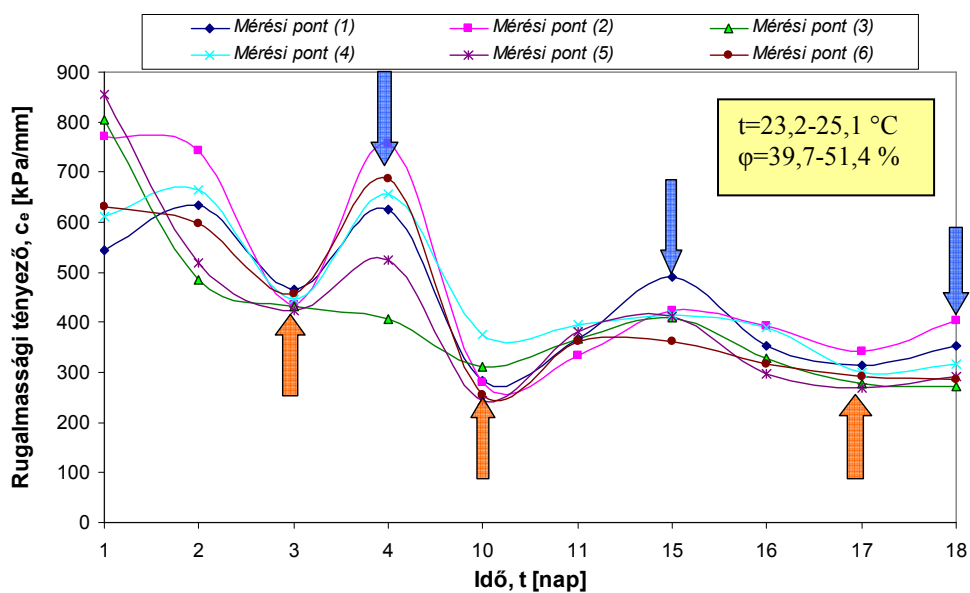
Konvekciós módszerrel szárított 'Golden Delicious' almafajta minták felületi keménységének változása a tárolási idő függvényében



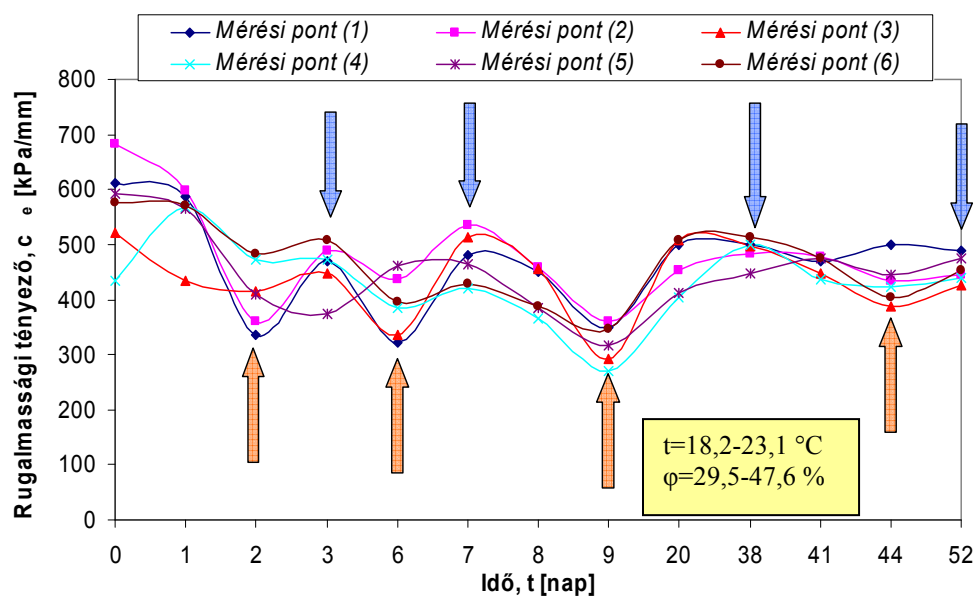
Liofilizált 'Golden Delicious' almafajta minták felületi keménységének változása a tárolási idő függvényében



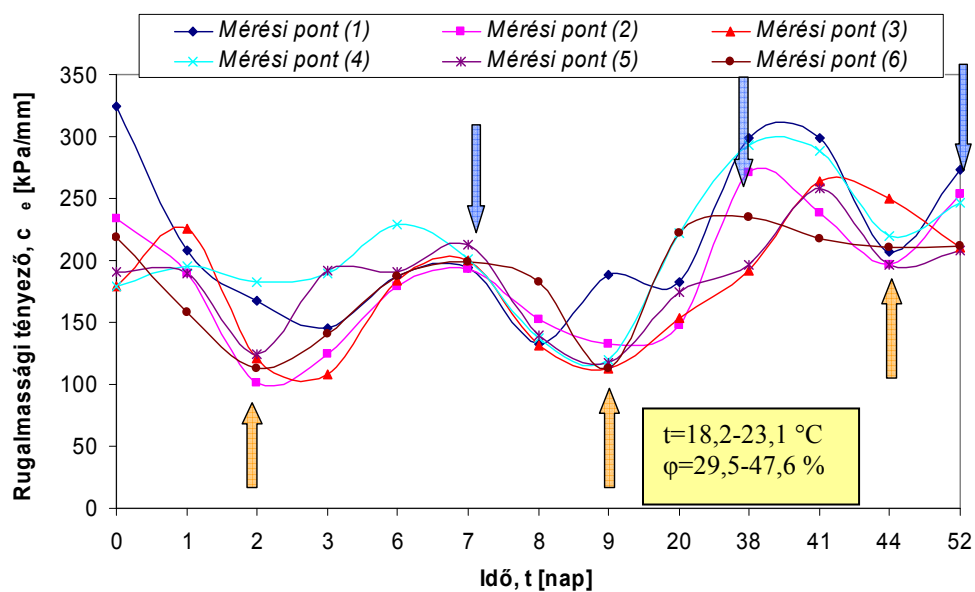
Konvekciós módszerrel szárított 'Kántorjánosi 3' meggyfajta minták felületi keménységének változása a tárolási idő függvényében



Liofilizált 'Kántorjánosi 3' meggyfajta minták felületi keménységének változása a tárolási idő függvényében

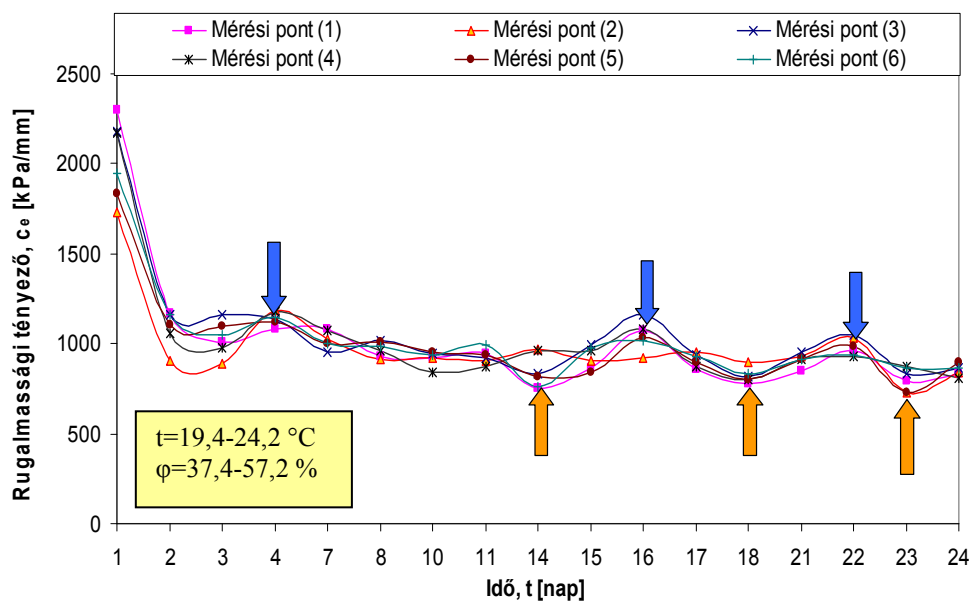


Konvektív dehidrációs eljárással szárított 'Cacanska leptica' szilvafajta minták felületi keménységének változása a tárolási idő függvényében

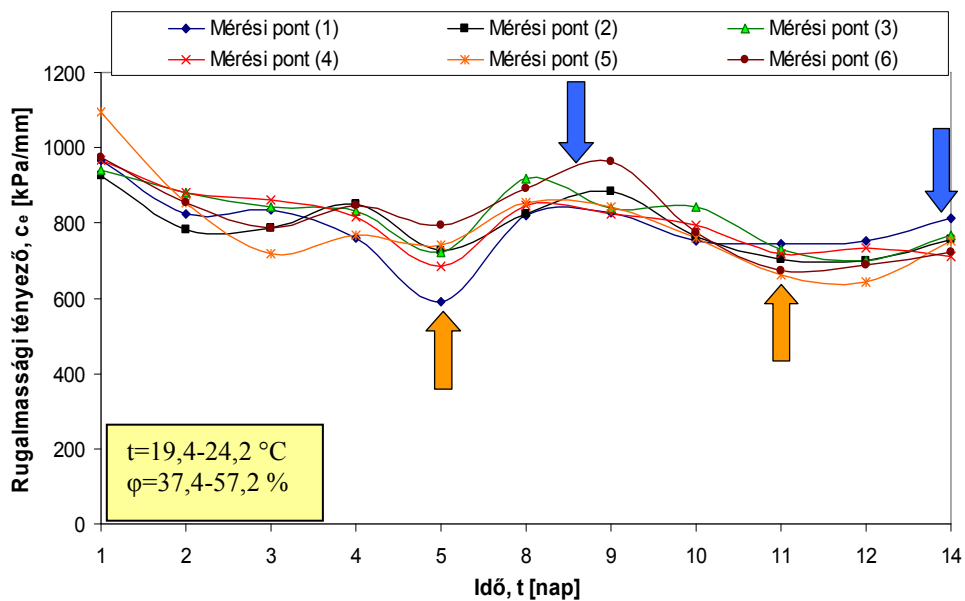


Liofilizált 'Cacanska leptica' szilvafajta minták felületi keménységének változása a tárolási idő függvényében

13. melléklet. Szárított 'Nagydobosi' sütőtök állományváltozása a tárolás ideje alatt



Laborban liofilizált 'Nagydobosi' sütőtkfajta minták felületi keménységének változása a tárolási idő függvényében



Üzemben liofilizált 'Nagydobosi' sütőtkfajta minták felületi keménységének változása a tárolási idő függvényében

14. melléklet. Zöldség- és gyümölcsfélék egyensúlyi nedvességtartalma 20 °C-on

	A levegő relatív nedvességtartalma 20 °C-on
--	---

Anyag	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	Az anyagok egyensúlyi nedvességtartalma %-ban									
Alma	8,95	12,35	14,65	18,19	27	39,05	54,05	69,5	81,5	n.a.
Banán	1,03	2,2	3,51	5	6,75	8,74	11,1	13,9	17,4	21,6
Burgonya	4,5	6	7,1	8,5	10	12	15	18,5	30	79,6
Kukorica	n.a.	9,43	10,54	11,58	12,7	13,83	15,58	17,6	20,1	-
Paradicsom	1,61	3,6	5,96	8,7	12,1	16,3	21,5	28,5	38,1	52,5
Sárgarépa	2,27	4,6	6,96	9,4	11,7	13,7	16,9	19,6	22,1	25
Szilva	1,51	2,79	4,7	7,5	10,4	14,9	21,6	33,5	54,2	-

Forrás: Lengyel, 1997a.

NYILATKOZATOK

NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Agrár- és Műszaki Tudományi Centrum Mezőgazdaságtudományi Karán a Kerpely Kálmán Növénytermesztési, kertészeti és Regionális Tudományok Doktori Iskola keretében készítettem el a Debreceni Egyetem AMTC MTK doktori (PhD) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2010. február 15.

.....
a jelölt aláírása

NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy Antal Tamás doktorjelölt 2005 – 2010 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, 2010. február 15.

.....
a témavezető aláírása