



Élelmiszertudományi Kar

Doktori értekezés

SÁRGARÉPA (*Daucus carota* subsp. *sativus*) FIZIKAI ÉS
ÍZJELLEMZŐINEK VÁLTOZÁSA NEM IDEÁLIS TÁROLÁS SORÁN

Készítette:

Kaszab Tímea

Konzulens:

Dr. Fekete András egyetemi tanár

Budapesti Corvinus Egyetem

Élelmiszertudományi Kar

Fizika-Automatika Tanszék

Budapest, 2013

A doktori iskola

megnevezése: Élelmiszertudományi Doktori Iskola

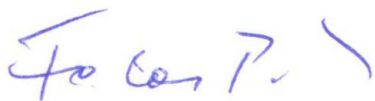
tudományága: Élelmiszertudományok

vezetője: Fodor Péter DSc
egyetemi tanár
Budapesti Corvinus Egyetem
Élelmiszertudományi Kar,
Alkalmazott Kémia Tanszék

Témavezető: Fekete András DSc
egyetemi tanár
Budapesti Corvinus Egyetem
Élelmiszertudományi Kar,
Fizika-Automatika Tanszék

A doktori iskola- és a témavezető jóváhagyó aláírása:

A jelölt a Budapesti Corvinus Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, az értekezés műhelyvitájában elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, azért az értekezés nyilvános vitára bocsátható.



.....
Az iskolavezető jóváhagyása



.....
A témavezető jóváhagyása

A Budapesti Corvinus Egyetem Élettudományi Területi Doktori Tanácsának 2012. december 4-i határozatában a nyilvános vita lefolytatására az alábbi bíráló Bizottságot jelölte ki:

BÍRÁLÓ BIZOTTSÁG:

Elnöke:

Biacs Péter Ákos DSc

Tagjai:

Cserhalmi Zsuzsa PhD

Stefanovitsné Bányai Éva DSc

Némethy Zoltánné Uzoni Hanna PhD

Balla Csaba PhD

Kókai Zoltán PhD

Opponensek:

Zsom Tamás PhD

Mohos Ferenc CSc

Titkár:

Kovács Zoltán PhD

RÖVIDÍTÉSEK

Fizikai mennyiségek

a^*	vörös-zöld színíngerjellemező, -
b^*	kék-sárga színíngerjellemező, -
$\Delta CO_{2(t2-t1)}$	CO_2 –koncentráció változása, ppm
D	ütésvizsgálati (impact) keménységtényező, ms^{-2}
D_{ke}	kúszás előtti deformáció, mm
D_{max}	kúszás utáni, maximális deformáció, mm
D_v	vágási deformáció, mm
E	elasztikus deformáció, mm
f	termény jellemző rezonancia frekvenciája, Hz
F_t	terhelőerő, N
F_v	vágási erő, N
l	termény hossza, m
L^*	világossági tényező, -
Li	légzésintenzitás, $ml\ CO_2/kg \cdot h$
m	sárgarépa tömege légzésintenzitás számolásánál, kg
M_{DK}/M_K	dekompressziós munka/kompressziós munka hányadosa, -
P	plasztikus deformáció, mm
S	akusztikus keménységtényező, m^2s^{-2}
$t_1 ; t_2$	mérési időpontok légzésintenzitás számolásánál, h
ΔT	a szinuszgörbe kezdő és maximum pontja közötti időkülönbség, ms
V_{sz}	mintatartó edény szabad térfogata, ml
w_N	nedvességtartalom nedvesbázisra számolva
w_{sz}	nedvességtartalom szárazbázisra számolva

Fogalmak rövidítései

CIE	Nemzetközi Világítástechnikai Bizottság (Comission Internationale de l'Éclargie)
CRT	kúszás-kirugózás teszt (creep-recovery test)
ET	elektronikus nyelv (electronic tongue)
HPLC	nagy nyomású folyadékkromatográfia (high pressure liquid chromatography)
NIR	közeli infravörös (near infrared) spektroszkópia

FT-IR	(Fourier transform infrared) spektroszkópia
VIS	látható fény (visible spectroscopy) spektroszkópia
SMS	Stable Micro System

Statisztikai rövidítések

AIC	Akaike információs kritérium (Akaike's information criterion)
Bias	módszeres különbség a becsült és mért értékek között PLS-regressziónál
CA	klaszteranalízis (Cluster Analysis)
CV	keresztvalidáció (cross-validation)
DA	diszkriminanciaanalízis (Discriminant Analysis)
DW	Durbin–Watson hipotézisvizsgálat
GLM	általános lineáris modell (General Linear Model)
n	Mintaszám
k	független változók száma
α	elsőfajú hiba valószínűsége
LOO	leave-one-out keresztvalidáció
PCA	főkomponens-elemzés (Principal Component Analysis)
PLS	legkisebb négyzetek módszere regresszió (Partial Least Square Regression)
r	korrelációs együttható
R^2	determinációs együttható
RMSE	becslési hiba (root mean square error)
RMSEC	kalibráció becslési hibája (root mean square error of calibration)
RMSEP	validáció becslési hibája (root mean square error of prediction)
RPD	jósolható eltérés aránya (ratio of predictive deviation)
SD	szórás (standard deviation)
SEC	kalibráció standard hibája (standard error of calibration)
SEP	validáció standard hibája (standard error of prediction)

TARTALOMJEGYZÉK

RÖVIDÍTÉSEK	3
TARTALOMJEGYZÉK	5
1. BEVEZETÉS	7
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	9
2.1. A sárgarépa	9
2.1.1. Eredete és gazdasági jelentősége	9
2.1.2. Táplálkozás-élettani jelentősége	9
2.1.3. Növényteni jellemzése, szövettani leírása, típusok, minőségi előírás	11
2.1.4. A sárgarépa betakarítása	16
2.1.5. A sárgarépa tárolása során bekövetkező változások.....	17
2.2. Keménységvizsgálati módszerek	20
2.2.1. Kvázistatikus állományvizsgálati módszerek.....	20
2.2.2. Dinamikus keménységmérési módszerek	25
2.3. Optikai mérési módszerek.....	30
2.3.1. Közeli infravörös spektroszkópia (NIR).....	30
2.3.2. Szín alakulása tárolás során.....	33
2.4. Íz jellemzők mérése elektronikus nyelvvel és érzékszervi vizsgálattal.....	35
2.4.1. Elektronikus nyelv	35
2.4.2. Érzékszervi vizsgálat	36
2.5. Szakirodalmi eredmények összefoglalása	38
3. CÉLKITŰZÉSEK	41
4. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	43
4.1. Anyagok.....	43
4.1.1. Sárgarépa.....	43
4.1.2. Tárolási körülmények	43
4.2. Légzésintenzitás mérése	45
4.3. Sárgarépa mérése kvázistatikus és dinamikus keménységvizsgálati módszerekkel	47
4.3.1. Vágási vizsgálat.....	47
4.3.2. Akusztikus keménységvizsgálat	49
4.3.3. Módszerek a sárgarépa szövetszerkezetének vizsgálatára	50
4.3.3.1. Kúszás-kirugózás vizsgálata.....	50
4.3.3.2. Ütésvizsgálati (impact) módszer.....	51
4.4. Optikai mérési módszerek.....	52
4.4.1. Közeli infravörös spektroszkópia (NIR) alkalmazása	52
4.4.2. Szín mérése.....	53
4.5. Ízvizsgálati módszerek.....	54
4.5.1. Elektronikus nyelv	54
4.5.2. Érzékszervi bírálat	55
4.6. Értékelési módszerek.....	55
5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS.....	59
5.1. Előlikérletek a légzésintenzitás, a tömeg- és nedvességveszteség, valamint a tárolási idő összefüggésének meghatározására	59
5.1.1. Sárgarépa légzésintenzitásának és szöveti felépítésének meghatározása	59
5.1.2. Tárolási feltételek meghatározása.....	61
5.1.3. Mintaelőkészítés hatása az elektronikus nyelvvel végzett mérések eredményeire	64
5.2. A tömegveszteség a betakarítást követő tárolás során.....	66

5.3. Sárgarépa kvázistatikus és dinamikus keménységmérésének eredményei.....	66
5.3.1. Vágás eredményei.....	66
5.3.2. Akusztikus keménységvizsgálat eredményei	74
5.3.3. Sárgarépa szövetszerkezetének mechanikai és reológiai vizsgálata.....	76
5.3.3.1. Kúszás-kirugózás eredményei	76
5.3.3.2. Ütésvizsgálati (impact) keménységmérés eredményei	86
5.3.4. Az egyes mintacsoportok megkülönböztetése a kvázistatikus és dinamikus keménységmérés eredményei alapján.....	88
5.4. Sárgarépa optikai jellemzői.....	98
5.4.1. Nedvességtartalom vizsgálata NIR tartományban.....	98
5.4.2. Színmérés eredményei	99
5.5. Sárgarépa ízjellemzőinek vizsgálata.....	101
5.5.1. Elektronikus nyelv mérési eredményei.....	102
5.5.2. Érzékszervi bírálat eredményei	103
5.5.3. Érzékszervi tulajdonságok becslése.....	104
5.6. Új eredmények	107
6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	109
7. JAVASLATOK TOVÁBBI TUDOMÁNYOS MUNKÁRA, GYAKORLATI ALKALMAZÁSRA.....	111
8. ÖSSZEFOGLALÁS.....	113
8.1. Summary	114
9. IRODALOMJEGYZÉK.....	117
10.MELLÉKLET	127
10.1. Durbin-Watson statisztika elfogadási- és bizonytalansági tartománya, kritikus d értékek	127
10.2. Friss sárgarépa összetevői és tápanyagai	128
10.3. Mikroszkópos felvételek.....	129
10.4. Ábrajegyzék	132
10.5. Táblázatjegyzék.....	135
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	137

1. BEVEZETÉS

Az egészséges táplálkozás elengedhetetlen része a rendszeres zöldség- és gyümölcsfogyasztás, segítségükkel jelentős mennyiségben juthatunk mikrotápanyagokhoz fontos ásványi elemekhez és főleg a szervezet egészségi állapotának megőrzéséhez szükséges, csak a növények által termelt endogén vegyületekhez (Vandresen et al, 2009). Napjainkban a piac növekvő keresletet mutat e termények iránt, ahol a fogyasztók számára az ár mellett egyre fontosabb a minőség, a magas vitamin- és ásványianyag-tartalom, valamint a tápérték. De milyen szempontok szerint dönt a fogyasztó, milyen minőségi elvárásai vannak? A minőség összetett fogalom, amelyet a külső (szín, illat, méret, alak) és a belső (íz, állomány, beltartalom, tápérték) jellemzők mellett a fogyasztói elvárások, a piaci kínálat és a korábbi tapasztalatok egyaránt meghatároznak (Abbott, 1999).

A piacra kerülés előtt már a termesztés és a betakarítás körülményei döntően befolyásolhatják a minőség alakulását. A betakarítást követően fontos szerepe van a helyesen megválasztott tárolási körülményeknek (pl. hőmérséklet, páratartalom). A szezonális termények esetében fő szempont, hogy hosszan eltarthatóak legyenek, és eközben minőségüket minél jobban megőrizték, hiszen a fogyasztó egész évben megköveteli a minőségi árut.

A háztartásokban azonban a kertészeti termények eltarthatóságát jelentősen befolyásolja az a tény, hogy nem oldható meg az iparban alkalmazott hosszú idejű tárolás, illetve nem állíthatók be az ott alkalmazott tárolási paraméterek. Háztáji gazdaságokban és őstermelőknél sok helyen a pince az egyetlen lehetőség, mellyel a téli gyökérzöldség-, burgonya-, hagyma- és almakészlet tárolható. Ilyen esetben a termények fizikai és beltartalmi jellemzői rövid időn belül akár jelentősen változhatnak, ami csökkenti a termény élvezeti értékét. Természetesen lehetőség van a zöldségek fagyasztással, szárítással vagy hőkezeléssel történő tartósítására is; az ezek során bekövetkező fizikai változásokat már sokan vizsgálták. Mivel azonban az otthoni tárolási körülmények nem ideálisak a minőség hosszú távú megőrzéséhez, könnyen előfordulhat olyan mértékű minőségromlás, amely élvezhetetlenné és fogyasztathatlanná teszi az adott terményt. Sárgarépa esetében ez a változás akár rövid idő alatt bekövetkezik. Ennek késleltetése érdekében az eltarthatósági idő meghosszabbítható például a sárgarépa homokban történő tárolásával. Az ideális körülmények között tárolt, ipari hűtőtárolóból piacra, illetve élelmiszerláncokhoz kerülő sárgarépa a primőr időszak elteltével, akár egész évben kiszolgálja a fogyasztói igényeket. Azonban a termény a polcra kerülését követően akár rövid időn belül minőségromlásnak indulhat. Ennek oka, hogy a kis hőmérsékletű és magas páratartalmú térben az élettani folyamatok lelassulnak, majd a tárolóból szárazabb és melegebb környezetbe kerülve rövid időn belül felgyorsulnak. Nem biztos azonban, hogy a szemmel látható minőségromlás azonos mértékű élvezeti értékvesztést is jelent. A zöldségek

és gyümölcsök keménységének vizsgálatára a már jól bevált roncsolásos és roncsolásmentes módszereket alkalmazzák. Ezek a vizsgálatok információt adnak a termény állományáról és minőségéről. A nyers sárgarépa fogyasztása táplálkozási szokásaink és ezzel egészséges életmódunk kialakításának egyre szervesebb része, hiszen tápértéke, valamint ásványi és vitamintartalma figyelemre méltó. A nyers sárgarépa fogyasztása során a keménység mellett az ízjellemzők is szerepet kapnak az élvezeti érték kialakulásában. Kérdés, hogyan viseli a sárgarépa a nem ideális tárolási körülményeket, és hogyan jelentkezik a tárolás hatása az ízjellemzőkben.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A sárgarépa

2.1.1. Eredete és gazdasági jelentősége

Az Európában őshonos sárgarépa (*Daucus carota* subsp. *sativus*) mintegy 4000 éves kultúrnövény. Őshazája Elő-Ázsia. A nyugati mediterrán vidékeken az ókorban vették művelésbe. A répát már a görögök és a rómaiak is termesztették, a késő római időben már nemesítették. Levelét és gyökerét egyaránt táplálékul használták. Az Európában termesztett narancsszínű sárgarépafajták elődjai, a sárga és lila színű répák az arab országokból terjedtek el. Ezek az ősi változatok a Földközi-tenger környékén a X-XI. században jelentek meg először, majd innen kerültek Európa több országába. A középkori Európában, elsősorban Franciaországban és Hollandiában veteményeskertekben termesztett és rendszeresen fogyasztott zöldségnövény volt. A mai, elsősorban narancssárga fajtákat a XVII. századi holland kertészeknek köszönhetjük. Takarmányozásra csak a XVII. sz. végétől a Rajna mellékén kezdték termesztani, de a takarmányrépa csupán egy évszázaddal később terjedt el nagyobb mértékben előbb Németországban, majd más európai országokban is. Hazánkban 1790 körül Tessedik Sámuel vetette először. Az általa behozott fajta a ma is legnépszerűbb *burgundi* volt, amely a franciaországi Bourgogne tartományról kapta nevét. A sárgarépa a gyökérzöldségek közül a legnagyobb mennyiségben termesztett és fogyasztott növény. A világon 800 ezer hektáron termesztik, nagy mennyiségben Kínában, az USA-ban és Oroszországban, ami eléri az összes sárgarépa-termesztés 50%-át. Az EU-ban az elmúlt öt év átlagát alapul véve éves átlagban 150-160 ezer hektáron folyik termesztése. Vetésterülete hazánkban is jelentős, 1,1–2,5 ezer hektár évenként. Elsősorban szabadföldi növény, a hajtásával főleg a nyugat-európai országokban foglalkoznak. Magyarországon szabadföldön termesztik nagy mennyiségben, hajtásával csak az utóbbi évtizedekben foglalkoznak. Hazai magtermesztése szintén jelentős. A piacon keresett növény. Fogyasztja a lakosság (35–55 ezer tonna), feldolgozza a tartósítóipar (35–40 ezer tonna) és exportja is jelentős (1–4 ezer tonna). Főleg a tartósítóipari termékeket exportálják, de sor kerülhet a csomózott áru kivitelére is (Balázs, 1994; Mándy és Horváth, 1964; Hraskó, 2011).

2.1.2. Táplálkozás-élettani jelentősége

A sárgarépa-fogyasztás legfőbb fogyasztói elvárása az íz és a táplálék minősége. Ezért a sárgarépa minőségének megállapításakor figyelembe kell venni az érzékszervi tulajdonságokat, valamint a cukortartalmat és nagyon fontos összetevők a növényi vegyületek. A sárgarépában különösen magas az α - és β -karotin, amely nagy A-vitaminforrás az emberi szervezet számára, amely fontos a látás szempontjából. Az A-vitamin hiányának legelső tünete a farkasvakság. A szem

képtelen alkalmazkodni a gyenge fényhez, ha az ideghártya fény- és színérzékelő receptoraihoz szükséges retinol nincs jelen. A fejlődő országokban a 21 év alattiak körében előforduló vakság leggyakoribb oka az A-vitamin-hiány. Továbbá jelentős mennyiségű B1, B2, B6 és B12 vitamint tartalmaz. Az α - és β -karotin alkotja a karotinok 90-95%-át, ami a sárgarépa narancssárga színéért felelős. A sárgarépában lévő karotin mennyisége azonban fajtafüggő. Ezek nem oldódnak vízben, és koncentrációjuk emelkedik a répa növekedési időszakában a vetés utáni 90-120. napig, majd aztán nagyjából állandó marad. A sárgarépa édes ízét a benne lévő di- (szacharóz) és monoszacharidok (glükóz és fruktóz) határozzák meg (Northolt et al, 2004; Prakash et al, 2004). (10.2. melléklet)

A sárgarépanak számos jótékony hatása van, gyermekkorban hozzásegít a csontozat és a fogazat fejlődéséhez. Ezért is tartalmazza a legtöbb bébiétel. Savtalanítja a vért, ezzel elősegíti a máj működését. Hatékony immunserkentő, fokozza a csecsemőmirigy működését. Karotinpótlással javíthatók az immunválaszok, a napi természetes β -karotinbevitel jelentősen növeli a fehérvérsejtek számát, aktivitását, különösen a T-sejteket, melyek csökkenése jellemző rák- és AIDS-betegeknél. Azoknál a népcsoportoknál, amelyek étrendjében sok a karotinoidban gazdag gyümölcs és zöldség, kevesebb a daganatos betegségek (főleg a tüdőrák) aránya. Az étrendi β -karotin csökkenti a hámeredetű tüdő-, bőr-, méhnyak-, légúti, gyomor- és vastagbél-daganatok számát. A sárgarépa a legtöbb zöldséggel ellentétben főzve táplálódabb, mint nyersen. A vastag sejtfalak miatt a szervezet a nyers répa β -karotintartalmának csak 25%-t tudja hasznosítani, míg főzve a sejtfalak károsodása miatt és az ételben jelen lévő zsírok miatt több mint a fele hasznosulhat. A gyümölcsök és a gabonafélék mellett a zöldségfélék is jelentős élelmirost-forrásnak számítanak. A vízben nem oldható rostok (cellulóz, hemicellulózok nagyobb része, lignin) növelik a béltartalom mennyiségét saját tömegükkel és az általuk megkötött vízzel, ezáltal elősegítik a bélmozgásokat, jótékonyan hatnak a rendszeres székletürítésre, lassítják a gyomor kiürülését és így tovább fenntartják a jóllakottság érzését. A pozitív élettani hatások mellett azonban olyan anyagok is előfordulnak a sárgarépában, melyeknek bizonyítottak káros hatásai az emberi szervezetre. Ilyen például a nitrát, amely attól veszélyes, hogy nitráttá alakul, ami rákkeltő hatású. A sárgarépa közepesen nitrátfelhalmozó zöldségnek számít (400-1000 mg/kg), amit a talajból képes magába szívni. A felnőttek szervezetében megtalálható a methaemoglobin-reduktáz, amely csökkenti a mérgező hatást, azonban a csecsemőknél ez hiányzik, így ők veszélyeztetettek. Ezért fontos, hogy a bébiétel minden esetben nitrátmentes sárgarépából készüljön. (Souci et al, 1986; Takácsné, 1999; Varga, Barna).

Különböző Nanti sárgarépák szárazanyag-, cukor- és karotintartalmát vizsgálta Némethy és Fehér (2002a; 2002b), a talaj és az éghajlati viszonyok hatásának figyelembevételével. Az eredmények bizonyos összefüggést mutattak a nedvességtartalom és a karotintartalom alakulása között. Némethyné és Stefanovitsné (2001) négy Nanti és Flakker típusú sárgarépa-fajta

karotintartalmát vizsgálta. Megállapították, hogy a sok nyári csapadék hatására kevesebb karotin termelődik a réptestben, mint száraz évben; a vizsgált sárgarépaajták karotintartalma tárolás során sem csökkent, és öt hónapos tárolás után is magas a karotintartalma a gyökereknek. A sárgarépa érzékeny a nedvességvesztésre, a gyökér nedvességvesztés látható károsodást eredményez a sárgarépa minőségében. A sárgarépa megráncosodik, elveszíti fényes, narancssárga színét és fogékony lesz a károsodásra.

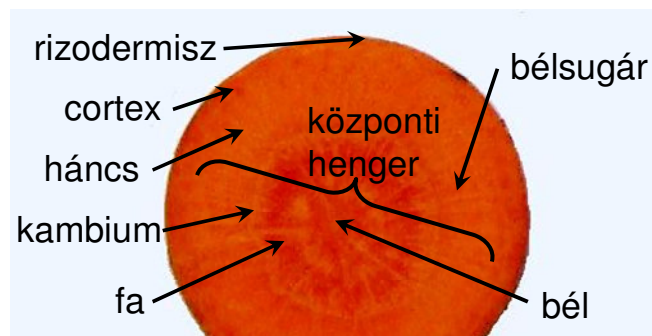
A sárgarépalé az egyik legnépszerűbb zöldséglé, gazdag vitamin- és karotinformrás. A hagyományos sárgarépalé-termelés során mechanikus megnyomással kissé zavaros lé és karotinban gazdag törköly keletkezik, a vízben oldhatatlan karotin a sejtekben marad. Enzimekésztményeket széles körben alkalmaznak a léhozam növelése céljából, melynek eredményeként nemcsak a hozam nő, hanem a keletkezett lé karotintartalma is. További módszer lehet a fordított ozmózással történő lékinyerés, amely szintén nagyobb hozamot ígér (Demir et al, 2007; Di Giacomo és Taglieri, 2009; Marx et al, 2003).

2.1.3. Növényteni jellemzése, szövettani leírása, típusok, minőségi előírás

A zöldségfajok és a termesztett növények származási helyének ismerete nagyrészt Vavilov szovjet tudós munkáján alapszik. Természetes, hogy valamennyi földrészen található több-kevesebb zöldségfaj. Vavilov a négy földrészen nyolc olyan géncentrumot feltételezett, amelyek a zöldségnövények származási helyének tekinthetők: a nyolc központból Ázsiában négy található, ennek alapján a zöldségnövények 40%-a ázsiai származásúnak mondható. Megközelítően ennyi faj őshazája Európa déli része, zömmel a Földközi-tenger környéke is. Jelentős zöldségnövény-géncentrum Afrika, továbbá Amerikában két terület. Ennek alapján a sárgarépa őshazája a közép- és nyugat-ázsiai övezetben található. Vavilov feltételezése a formagazdaságon alapult, miszerint egy növényfaj őshazájának azt a területet tartotta, ahol az illető faj a legnagyobb változatosságban fordul elő. A hazánkban termesztett mintegy 40 zöldségnövény rendszertanilag 12 családba tartozik, a tizenharmadikba és a tizennegyedikbe pedig a termesztett gombák (Balázs, 1994).

A sárgarépa az ernyősvirágúak családjába *Apiaceae* (korábban *Umbelliferae*) tartozik, kéteves növény. Idegentermékenyülő, rovarmegporzású növény. A virágokból ikerkaszat termés fejlődik. Az első évben vegetatív részeit (húsos gyökér, tőlevelek), a másodikban generatív részeit (virág, termés) fejleszti ki. Ha generatív részei már az első évben megjelennek (kivételes esetekben előfordul), akkor fogyasztható része (gyökere) csökevényes marad, vékony lesz, és nem színesedik. Levelei az első évben tőlevelek, amelyek a répafejen körkörösén helyezkednek el. A levelek összetettek, szárnyaltak és erősen szabdaltak. Szára a második évben jelenik meg, 100 - 150 cm magas, merev szőrös és elágazó. Megjelenése az első évben nem kívánatos. (Balázs, 1994).

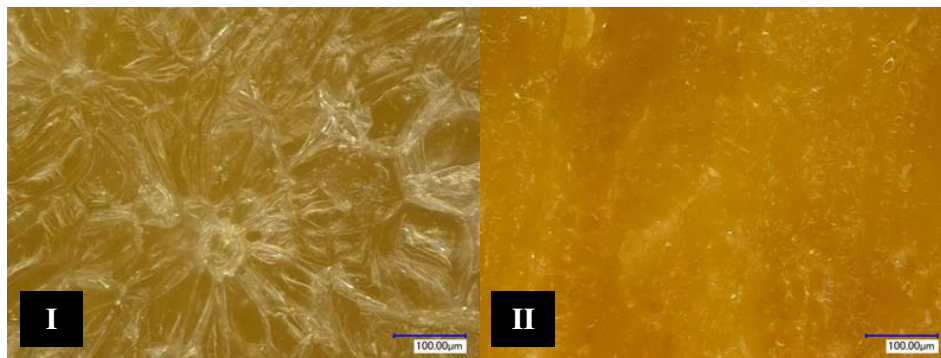
A zöldség fogyasztható része a gyökere, amit főgyökérnek vagy karógyökérnek is neveznek. A karógyökér ennek és a szik alatti szárnak a megvastagodásából jön létre. A fiatal szikleveles magoncon ezek még felismerhetően, jól elkülönülnek. A gyökérágak vékonyak, és zömmel a répatest alsó részén helyezkednek el. A fejlődő gyökér húzóereje következtében a szik alatti szár a talajba húzódik. A nemesítők a húzóerő fokozására törekszenek, mert a kiálló fejű típusok feje fény hatására zöldül vagy lilásodik, ezért ezek kevésbé kedveltek. A karógyökér keresztmetszetében öt jellegzetes zóna különböztethető meg. A sárgarépa szöveti felépítése a 1. ábrán látható.



1. ábra A sárgarépa szövetei

A karógyökér elsődleges bőrszövete, ún. rizodermisz a legkülső sejtsor, amely szorosan záródó sejtekből áll és a karógyökér védelmét szolgálja. Ezt követően, kívülről befelé haladva következik a cortex, mint elsődleges kéreg, melyet vékonyfalú parenchyma sejtek alkotnak. A cortex legbelső sejtsora az endodermisz, azaz a kéreghatár. Ezen belül található a központi henger az ún. sztéle, ennek külső sejtsora a periciklus, ahonnan az oldalgyökerek indulnak ki. A központi hengerben vannak a szállítónyalábok, benne a háncsrész, amely általában sötétebb színű és raktározó szöveiben igen sok festéket és tápanyagot tartalmaz. A kromoplasztisban, amely a sejt része, raktározódik a festékanyaga, a karotin (gyakran kikristályosodott formában), ez adja a sárgarépa narancssárga színét. Szerves vegyületeket, ún. asszimilátumokat szállít. A háncsedények élő parenchimatikus sejtekből állnak, melyek plazmadúsak. A háncssejtek kifejlődésekor a sejtmag eltűnik, hogy ne akadályozza az anyagszállítást. A háncsrész sejtnedveiben a szerves vegyületek, mint a cukrok, szerves savak, aminosavak, vitaminok (vízben és zsírban oldódó), az alakos testekben, ún. zárványokban pedig a lipidek találhatóak. A háncsrészt a vékony kambium választja el a farésztől. A kambiumgyűrű a répatest megvastagodásáért felelős, ún. osztódószövet, amely befelé új fasejteket, kifelé pedig új háncssejteket hoz létre, mellettük nagytömegű parenchimát is fejleszt. Legbelül található a farész vagy szívérész, amely, gyorsan fásodik, kevesebb színanyagot, szárazanyagot és cukrot tartalmaz. Vízet és benne oldott sókat szállít, elhalt vastag falú vízszállító sejtekből (tracheida) és vastag falú vízszállító szövetekből (trachea), valamint parenchimatikus

szövetből áll. A vízszállító sejtek hosszú, orsó alakúak, végükkel egymáshoz kapcsolódnak, ahol lukacsos harántfalak vannak. Ennek a szövetrésznek a közepén van a bél (Kárpáti et al, 1968; Fodorpatiki et al, 2002; Esau, 1976, Haraszty, 2004). A 2. ábrán KEYENCE VHX-1000 típusú digitális mikroszkóppal készült farész és hancsrész fényképe látható 500x nagyításban. Látható a két szövettípus alapvető eltérése.



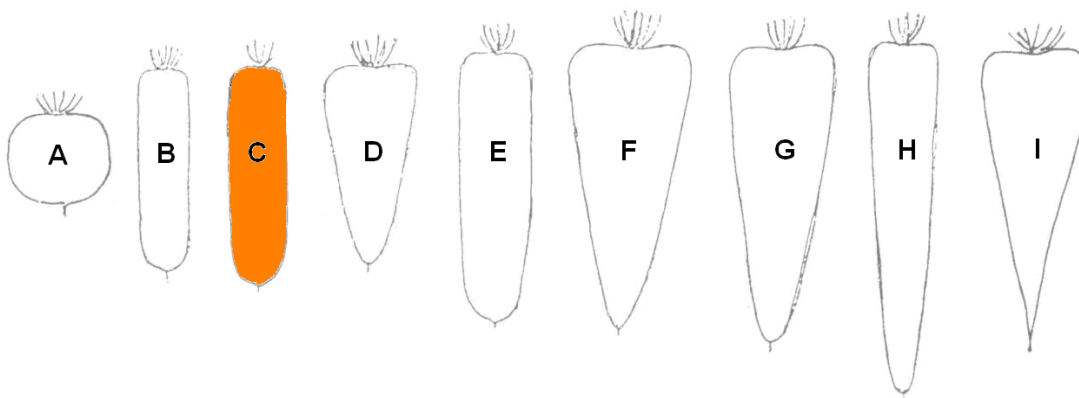
2. ábra A sárgarépa farésze (I) és hancsrésze (II) 500-szoros nagyításban

A termesztés egyik fontos tényezője a fajtatípus, amelynek eltérő igényt kell kielégíteni a friss piac illetve a feldolgozóipar számára, mivel különbözőek a minőségi elvárások.

A sárgarépa különböző szempontok szerint csoportosíthatók:

- Alak és típus alapján
- Tenyészidő és érés alapján
- Felhasználási cél alapján

Az államilag elismert fajták között a Nanti típusú sárgarépa nagyon közkedveltek. A 3. ábrán a különböző sárgarépa fajtatípusok láthatóak (a vizsgált Nanti típusú, „Nevis” fajta hengeres formájú), valamint az 1. táblázatban összefoglaltam a fajtatípusok főbb jellemzőit.



3. ábra Sárgarépa fajtatípusok (Hraskó, 2011) A – Párizsi vásár; B – Amszterdami; **C – Nanti**; D – Chantenay; E – Berlicum; F – Danvers; G – Flakker; H – Imperator; I – St Valery

1. táblázat Sárgarépa fajtatípusok főbb jellemzői (Hraskó, 2011)

Fajtatípus	Tenyészdő (nap)	Termesztési mód	Felhasználás
Párizsi vásár	75-90	korai szabadföldi	friss fogyasztás, feldolgozás (konzerv)
Amsterdami	90-100	hajtítás, korai szabadföldi	korai csomózott áru, friss fogyasztás
Nanti	95-120	hajtítás, átteleltetési term. korai szabadföldi	korai csomózott áru, friss fogyasztás, tárolás
Chantenay	120-140	szabadföldi	friss fogyasztás, tárolás
Berlicum	130-150	hajtítás, szabadföldi	korai csomózott áru, friss fogyasztás
Imperator	130-150	szabadföldi	friss fogyasztás, feldolgozás
Danvers	140-160	szabadföldi	tárolás, feldolgozás
Flakker	130-160	szabadföldi	friss fogyasztás, tárolás, feldolgozás
St. Valery	160-180	szabadföldi	tárolás, feldolgozás

Fontos fajtatulajdonság a répatest mérete. Jellemzője a hosszúság és a vállszélesség vagy a hengereseken az átmérő. A hosszúság és a termésmennyiség között szoros az összefüggés. Minél hosszabb a répatest egy fajtának, annál nagyobb a terméshozama. A hosszúság 4 és 30 cm között változik. Rövid gyökérről beszélünk 8 cm-ig, középhosszúról 9–17 cm-ig és hosszúról, ha a gyökér 18 cm-nél hosszabb. A nagyobb, hosszú típusok kevésbé elterjedtek, mert nehezebb a talaj-előkészítésük, a gépi betakarításuk. A szállítás során könnyebben törnek és rosszabb eredménnyel tárolhatók. A 14–20 cm hosszú, hengeres típusok kedveltebbek, mert jobb a minőségük (beltartalom) és géppel könnyebben betakaríthatók. Közülük az erősebb lombúak vannak előnyben. A gépi betakarításra egyébként a kissé lefelé vékonyodó, tompa végű fajták a legjobbak (Balázs, 1994).

A Nanti típusú, Nevis fajta sárgarépa termőképesége meghaladja az összehasonlító fajtákét, és az egyik legjobb eredményt mutatja. A gyökerek a 30-45 mm vállátmérőjű kategóriába tartoznak. Beltartalmi értékei jók, karotintartalma igen magas. Friss fogyasztásra vagy tárolásra kiválóan alkalmas fajta (Füstös, 2002).

A betakarítás és tárolás, valamint értékesítés szempontjából a zöldségek és gyümölcsök esetében is komoly minőségi előírásoknak kell megfelelni.

Az Közösségek Bizottsága 730/1999/EK rendeletével (www.omgk.hu) egységesen szabályozott, a sárgarépa vonatkozó minőségi előírásai a következők:

I. A termék meghatározása

Az előírás a friss állapotban szállítandó, fogyasztóknak szánt sárgarépa (*Daucus carota* L.) termesztett fajtáira vonatkozik.

II. Minőségi előírások

Az előírás célja az értékesítésre előkészített és csomagolt sárgarépa minőségi követelményeinek meghatározása.

A. Minimumkövetelmények

- ép;
- egészséges, ne legyen romlóhiba vagy más minőségcsökkenés miatt fogyasztásra alkalmatlan;
- tiszta, a mosott sárgarépa esetében minden látható idegen anyagtól mentes
- egyéb sárgarépa esetében kemény, nem fás, nem magszáras, nem villásan elágazódó; mentes a durva talajmaradéktól és szennyeződéstől, növényi betegségektől, rovarkártévőktől és azok kártételétől, oldalgökörektől, nem természetes felületi nedvességtől (mosás után kellően szikkasztott), idegen szagtól és/vagy íztől.

A sárgarépa fejlettsége olyan legyen, hogy kibírja a szállítást és az árukezelést, valamint megfelelő állapotban érkezzon a rendeltetési helyére.

B. Osztályozás

a) „Extra” osztály

A sárgarépa kiváló minőségű, mosott legyen és rendelkezzen a fajtára vagy a fajtatípusra jellemző tulajdonságokkal Ezen kívül legyen hibátlan, de nagyon enyhe felületi károsodás megengedett, amennyiben a termék általános megjelenését, eltarthatóságát, és a csomagolt áru külső megjelenését nem befolyásolja. A gyökér legyen sima; friss megjelenésű; szabályos alakú; repedéstől, zúzódtól, töréstől, fagyás nyomaitól mentes. A zöld vagy ibolya/bíborszínű gyökérkorona nem megengedett.

b) I. osztály

A sárgarépa jó minőségű legyen. Rendelkezzen a fajtára vagy a fajtatípusra jellemző tulajdonságokkal A gyökér legyen friss megjelenésű. Ha a termék általános megjelenését, minőségét, eltarthatóságát és a csomagolt áru külső megjelenését nem befolyásolják, akkor kisebb alakhi hibák; kisebb elszíneződési hibák; enyhe, begyógyult; a mosásnak vagy mozgatásnak tulajdonítható sérülések, repedések megengedettek. Zöld vagy ibolya/bíborszínű korona 10 cm-nél rövidebb gyökerek esetén legfeljebb 1 cm, hosszabb gyökerek esetén legfeljebb 2 cm lehet.

c) II. osztály

Magasabb osztályokba nem sorolható sárgarépa, amelyek az előzőekben felsorolt minimum követelményeknek megfelel. Amennyiben a sárgarépa megtartja alapvető minőségi, eltarthatósági és küllemi tulajdonságait, akkor alakhi és elszíneződési hibák; behégedt repedések; mosásnak vagy a mozgatásnak tulajdonítható sérülések előfordulhatnak. Zöld vagy ibolya/bíborszínű korona 10 cm-nél rövidebb gyökerek esetén legfeljebb 2 cm, hosszabb gyökerek esetén legfeljebb 3 cm lehet.

III. Méretelőírások

A méret szerinti válogatás történhet a gyökér legnagyobb átmérője vagy a tömege figyelembevételével.

a) Korai sárgarépa és kisgyökerű fajták

Nem lehet az átmérő alapján válogatott gyökerek vállátmérője 10 mm-nél kisebb és a tömeg alapján válogatott sárgarépa tömege 8 g-nál kevesebb. Átmérő alapján történő válogatás esetén a legnagyobb átmérő a 40 mm-t, tömeg alapján történő válogatásnál a legnagyobb tömeg a 150 g-ot ne haladja meg.

b) Hosszú tenyészidejű sárgarépa és nagygyökerű fajták

Nem lehet az átmérő alapján válogatott gyökerek vállátmérője 20 mm-nél kisebb és a tömeg alapján válogatott gyökerek tömege 50 g-nál kisebb. „Extra” minőségi osztályban nem lehet az átmérő alapján válogatott gyökerek vállátmérője 45 mm-nél több, a tömeg alapján válogatott gyökerek tömege 200 g-nál több. A legkisebb és legnagyobb sárgarépa közötti eltérés egyazon göngyölegben nem lehet több, mint az átmérő szerinti válogatás esetén 20 mm, vagy a tömeg szerinti válogatás esetén 150 g. I. osztályban a legkisebb és legnagyobb sárgarépa közötti átmérő-, ill. tömegeltérés azonos csomagolási egységben nem lehet több, mint 30 mm ill. 200 g. II. osztályban a sárgarépa csak a minimum méretkövetelményeknek feleljen meg.

2.1.4. A sárgarépa betakarítása

A sárgarépa viszonylag hosszú tenyészidejű növény. Éréséhez legalább 80, legfeljebb 220 nap szükséges. A betakarítás ideje tehát függ a termesztés céljától, a felhasználási területtől és a fajta tenyészidejétől. Ennek alapján június második felétől november elejéig bármikor szedhető, ha elérte a fogyasztási érettséget. Június, július hónapokban – de igen gyakran még augusztusban is – lombbal együtt takarítják be, főként a rövid és középhosszú tenyészidejű fajtákat, amelyek mosva és csomózva kerülnek a piacra. Az érettség jele a színeződés és a szabvány által meghatározott méret:

A lomb nélkül piacra, feldolgozásra vagy tárolásra kerülő répát szeptemberben, októberben takarítják be a fajtától, a szaporítási időponttól és a felhasználási céltól függően. Az érettség jele a megfelelő szín, a fajtára jellemző méret, valamint a nagy karotin- és szacharóztartalom. Augusztus közepétől, végétől a közvetlen piacra, szeptembertől a feldolgozásra kerülő sárgarépa betakarítása történik. A tárolásra szánt sárgarépa betakarítása október közepén kezdődik. A betakarítást kézzel, nagyüzemekben, nagy felületen géppel végzik (Hraskó, 2011).

Azonban a betakarítás utáni műveletek – átrakás, válogatás, a piacra kerülő sárgarépáknál a mosás – mindegyike kisebb-nagyobb hatással van az eltarthatóságra: mikrosérüléseket okozhatnak a termés felületén, amelyek a későbbi tárolás során felgyorsítják a romlást (Geyer, 1999)

2.1.5. A sárgarépa tárolása során bekövetkező változások

Mielőtt a tárolás alatti veszteségeket tárgyalnám, nagyon röviden meg kell említenem a tárolás alatt bekövetkező élettani változásokat, melyek a későbbiekben bemutatott kísérletek háttérére is némi magyarázatot adnak.

A tárolás során a sárgarépaiban a lebontó anyagcserefolyamatok uralkodnak, melyek közül a legfontosabb a légzés, de nem szabad megfeledkezni a légzéssel együtt járó hőképződésről sem, melynek káros következményei lehetnek. A légzés során a szerves tápanyagokban, főleg a szénhidrátokban következik be változás, melynek során a szénhidrátokból víz és szén-dioxid keletkezik (Kosáry, 2012; Bathke, 1981). A tárolás során cél tehát a légzés során fellépő veszteségek minimálisra történő csökkentése, ezért nagyon fontos, hogy a tárolás megkezdésekor a zöldség gyors lehűtésre kerüljön, ami a légzés lassításával meghosszabbíthatja a tárolási időt (Dobray, 1982).

Vizsgálatokkal kimutatható, hogy a különböző szénhidrátok mennyisége a légzés folyamán csökken (Szalai, 1994). A tárolás sikerét nagy mértékben befolyásolják a mechanikai hatások. Már a kismértékű behatás, mint a nyomás, hajlítás szerkezetváltozást okozhat a plazmában, amire a normális állapot helyreállítása céljából a növény fokozott légzéssel válaszol (Szalai, 1994).

A zöldségfélék különböző fejlettségi állapotban érnek meg a tárolási igényeket is figyelembe vevő betakarításra. Bizonyos fajoknál, így a sárgarépanál is a vegetatív rész teljes kifejlődése jelenti az optimális szedési állapotot (Sáray, 2006). A betakarítást követően a kereskedelmi szektorban alkalmazott hűtőtárolás előtt előkészítő műveletek fontos lépése a termék gyors, kíméletes lehűtése, előhűtése. Nedvesen tisztított sárgarépa esetében ez hatékony felületi száradást is jelent.

A tárolást több tényező is meghatározza, ilyen az

- *áru minősége* (ez függ a fajt tulajdonságoktól, termesztés körülményeitől, valamint a betakarítástól);
- *a tárolás módja* (hagyományos – verem, pince vagy halom – és hűtőházi);
- *a tárolás célja* (átmeneti, rövid (2 hónapos), hosszú (5-6 hónapos) tárolás); valamint
- *a tárolás környezeti tényezői* (hőmérséklet, páratartalom, légmozgás, a légcseré hatása, valamint a levegő összetétele) (Dobray, 1982). Hagyományos tároláskor fontos odafigyelni arra, hogy a hőmérséklet 0 és +6–8°C között maradjon (Bogyó, 1999). A tárolótér levegőjének magas relatív páratartalma a termék frissességének megtartása, a minőség megőrzése szempontjából nagy jelentőségű, különösen az ömlesztve, csomagolás nélkül tárolt gyümölcs- és zöldségféléknél. Az optimálisnál alacsonyabb nedvességtartalmú környezetben a transzspiráló termék könnyen elvesztheti víztartalmának jelentős részét,

ami fonnyadáshoz, ráncosodáshoz, tömegvesztéshez, az érzékszervi jellemzők megváltozásához, a táplálkozási érték csökkenéséhez vezet (Sáray, 2002).

Fikselová et al (2010) négy fajtatípusú sárgarépat vizsgáltak, melyeket 3–5°C-on és 8°C-os pincében tároltak 3 hónapig. Ezen idő alatt a β -karotin mennyiségének változását vizsgálták. Megállapították, hogy a szárazanyagtartalom alakulására hatással vannak a tárolási körülmények. Összehasonlították a két vizsgált hőmérsékletet, és a magasabb hőmérsékleten tárolt sárgarépaiban nagyobb ütemben csökkent a β -karotin mennyisége.

Deákvári és Jakovác (2006) vizsgálta a Nevis fajtájú sárgarépa légzésintenzitásának alakulását különböző módon és különböző hőmérsékleten való tárolás során. Megállapították, hogy a tárolás során a nem megfelelő hőmérsékleten tárolt termékek a légzés által jelentős tömegvesztést szenvednek, valamint hogy a termékek romlásának mértéke a légzés intenzitásával arányos.

Herppich és társai (2005) 4°C-os hőmérsékleten klímakamrában vizsgálták a sárgarépa vízpotenciál-alakulását. Megállapították, hogy az átlagos szöveti szilárdság, az átlagos vágási erő korrelációt mutat a vízpotenciálra a friss sárgarépa esetében. Magas vízpotenciálnál az átlagos szöveti szilárdság gyorsan csökkent a vízhiány növekedésével. Vízpotenciálon azt a negatív nyomásértéket (szívóerőt) értjük, amellyel valamely közegben kötődik a víz. Potenciálkülönbségek esetén (mint az elektromosságban) a nagyobb vízpotenciálú (kisebb negatív számértékű) helyről a kisebb felé áramlik a víz. Potenciálkülönbség nélkül nincs áramlás. Minél nagyobb viszont két hely között a potenciálkülönbség adott ellenállás esetén, annál intenzívebb a vízáramlás (Balázs, 1994).

Vizsgálták a mechanikai és klimatikus stressznek a sárgarépa nedvességtartalmára gyakorolt hatását is. Herppich et al (1999) egy nyomáskamra segítségével a vízpotenciál változását, és megállapították, hogy 18°C-on, 98%-os relatív páratartalom mellett több, mint 200%-ot csökkent az értéke 2 nap alatt, a nyomáspotenciál pedig a felére csökkent. 85%-os páratartalom mellett a vízpotenciál a turgotpont alá süllyedt. Mechanikai stresszhatást vizsgálva szállítószalagról leeső répa nem mutatott vízpotenciál változást, de rázógéppel összerázva a minták vízpotenciál-értékében szignifikáns csökkenés jelentkezett. Herppich et al (2004) sárgarépat és retek vízpotenciálját vizsgálták, és emellett vágás- és nyomástesztet is végeztek, meghatározták a vágási erőt és látszólagos rugalmassági moduluszt. 8–10 és 18–20°C-on a vágási erő mindkét termény esetében, a látszólagos rugalmassági modulusz azonban csak a retek esetében mutatott pozitív korrelációt a vízpotenciállal. Továbbá megnézték a nyomási potenciál és a vízpotenciál közötti kapcsolatot is, amely csak a sárgarépa esetében mutatott kapcsolatot.

A sárgarépa eltarthatósága hűtőházi körülmények között is legalább 4 hónapig, de akár 6 hónapig is biztosítható. Normál légtérben a hőmérséklet 0–3°C, a páratartalom 95% feletti legyen,

ezen kívül fontos a levegő áramoltatása is. Ilyen feltételek mellett az eltarthatósági időtartam 4-5 hónap (maximum 15%-os romlási és 5-6%-os apadási veszteséget feltételezve). A normál légterű tárolás kifejlett sárgarépa egyedek esetében eltérő, mert 0°C-on 95-100%-os páratartalom mellett 100-150 napig, de akár 180 napig is tárolható a sárgarépa 20-35%-os tömegveszteséggel, 2°C-on 100 napig, de 8°C-os tárolás esetén a tárolási idő lecsökken 50 napra (Thompson, 2003).

A tárolás folyamán „normán belüli” és „normán felüli” veszteségek lépnek fel. A normán belüli veszteség az ún. élettani veszteség, mert a termény betakarítás után is folyamatosan lélegzik. A súlyvesztést az elpárolgott víz és a légzés folyamán eltávozó szén-dioxid okozza. A vízvesztés és az ezzel összefüggő szárazanyagtartalomváltozás a párolgásnak köszönhető: a növény súlya és térfogata csökken, miközben a zöltség fonnyad. A párolgás okozta súlyvesztés 5-10%-ot is elérhet 180 napos tárolás alatt, ami a tárolás első hónapjaiban 2-4%, majd havonta 0,5-1%. Kedvezőtlen körülmények között azonban többszöröse is lehet, akár 15-25%, ami magasabb relatív páratartalommal, kis hőmérséklettel, minimális szellőztetéssel csökkenthető. A normán felüli veszteség a termény rothadásából ered. Sikeres a tárolás, ha a kétféle veszteség együtt nem több mint 10% (Bogyó, 1999; Dobray, 1982).

Shibairo et al., (1997) a nedvességvesztés mértékét vizsgálták 8 különböző sárgarépaajtán rövid idejű tárolás alatt 13°C-os hőmérsékleten és 35%, valamint 85%-os relatív páratartalom mellett. Korai és késői betakarítású sárgarépaikat vizsgáltak. Megállapították, hogy a nedvességvesztés nagyobb volt alacsonyabb páratartalom mellett, továbbá a nagyobb nedvességvesztést a késői betakarítású répáknál is észlelték. A nedvességtartalom csökkenését a répák fajlagos felületével hozták összefüggésbe.

A normál légterű tárolás során uralkodó gázösszetétel szabályozásával előnyösen befolyásolhatjuk a termény eltarthatóságát. Szabályozott légterű tárolás esetén az optimális gázösszetétel: 2-3% O₂ és 1-4% CO₂, amellyel tovább növelhető a tárolhatóság. Ez utóbbi tárolási mód során lényegesen lelassulnak az öregedési folyamatok, azonban e térből kikerülve jelentősen felgyorsulnak, ami az utótárolhatósági időt csökkenti (Sáray, 2002; Thompson, 2003). Apeland és Hoftun (1972) szerint a 8-10%-nál kisebb O₂ koncentráció és 5%-nál nagyobb CO₂ mennyiség már káros lehet a sárgarépa nézve, míg Krug (1991) 6%-os CO₂ koncentráció határértéket tart megfelelőnek. A növényi szövetek oxigénellátása a levegővel telített sejt közötti járatokon, üregeken keresztül történik. A gyümölcsféléknél és zöltségeknél ez a rendszer egymástól nagyon eltérő lehet. A gáz diffúzióját nagymértékben befolyásolja a külső burok, a héj is. A gázcsere nyílás hiánya (pl. sárgarépagyökernél) jelentősen befolyásolja a gázdiffúziót. A gázcsere hatással van még az anyagcsere sebessége, továbbá a tárolási feltételek, főként a levegő hőmérséklete és gázösszetétele. A tárolt zöltségnövény különböző részeinek (gumó, virágzat, levél, stb.) reakcióit mindig a szövetek gázdiffúziója dönti el. A légzési ráta hűtött és szabályozott légterben,

termékfüggően 20–60%-kal lehet alacsonyabb a normál összetételű levegőben történő tároláshoz képest (Sáray, 2008).

A szabályozott légterű tárolás egyik típusa az ULO tárolás, amely ultraalacsony O_2 -tartalmat jelent. Azok a gyümölcs- és zöldségfélék, amelyek kedvezően reagálnak a CA körülményekre, a tárolótérben minimum 1–3% O_2 -koncentrációt igényelnek. Ilyen oxigénszintnél a sejtközi járatokban, üregekben (eltekintve a sejtnedvben oldott állapotban lévő hányadtól) – a szövetek diffúziós ellenállása miatt – csak 0,2–0,6% O_2 -koncentráció mérhető. Ez a körülmény anaerob cukorbontást idézhet elő, amely hirtelen megnövekedő CO_2 -termeléssel, acetaldehid, majd etil-alkohol keletkezésével jár. A fermentáció a termék piacképtelenségét jelenti. Az ULO technológia másik hátránya, hogy adott esetben alig beérett vagy éretlen nyersanyagot betárolva mérsékelt ütemű, nem teljes értékű érésre, aromaanyag-képződésre számíthatunk. Az utóérési hajlamot feltételezve ilyenkor feltétlenül irányított, ellenőrzött érlelésre van szükség, de az átlagosnál nagyobb veszteséget így sem tudjuk elkerülni. Többhónapos tárolás esetén teljesen beérett termékeknél az íz- és illathordozó komponensek szegényedését, lebomlását nehezen lehet fékezni (Sáray, 2008).

2.2. Keménységvizsgáló módszerek

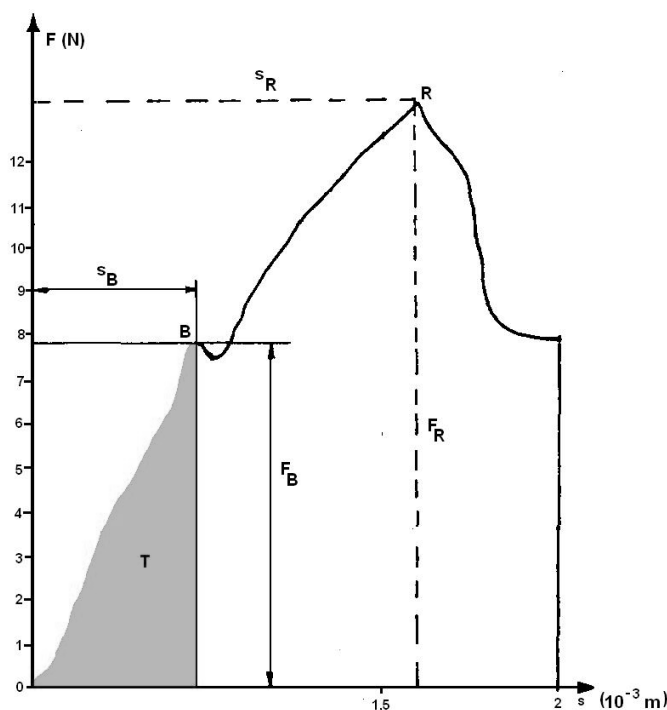
A termény mérése történhet közvetlen és közvetett eljárással. Közvetlen módszer alkalmazásakor olyan fizikai jellemzőt mérünk, amely közvetlen kapcsolatban áll a keménységgel. Ilyen tulajdonságok például a nyomófeszültség vagy a nyírófeszültség. Közvetett módszer esetén a terményt erő valamilyen külső hatás eredményeként fellépő reakciót mérjük, pl. vibráció, hanghatás. Ezeken kívül megkülönböztethetjük a méréseket időtartamuk szerint, így van gyors mérés – dinamikus módszerek - amely során másodpercek alatt eredményt kapunk, és van hosszú ideig tartó mérés – ezek általában a kvázistatikus mérések – ahol bizonyos idő után kapunk eredményt (Borsa et al., 2002).

2.2.1. Kvázistatikus állományvizsgáló módszerek

Az élelmiszerek állománya összetett tulajdonság, amely különböző, egymástól többé-kevésbé független mechanikai tulajdonságokból tevődik össze. A különböző termények mechanikai jellemzésének alapja az erőnek a terményre gyakorolt hatása. A terményeknél ez a deformációban nyilvánul meg, amit az erőn kívül az idő is meghatároz. Az ilyen anyagok, amelyeknél időben változó az erő-deformáció és a feszültség-deformáció összefüggése, reológiai anyagoknak nevezzük (Borsa et al., 2002; Balla és Sáray, 2002).

A reológia az anyagok külső erők hatására bekövetkező alakváltozásait, deformációját, folyási tulajdonságait tanulmányozza az időhatás figyelembe vételével. A termékekre jellemző reológiai tulajdonságok kiválóan alkalmazhatók az élelmiszerek jellemzésére és minősítésére.

Sok információt elárul a termék szerkezetének állapotáról a nyomóerő és a fellépő alakváltozás közötti összefüggés. Ezt a terhelőerő-deformáció jelleggörbéje mutatja be részletesen (4. ábra).



4. ábra Terhelőerő (F) – deformáció (s) jelleggörbéje (László, 1999)

- **Biológiai folyáshatár (B):** a feszültség-deformáció görbéjének az a pontja, ahol a folyamatosan növekvő terhelés hatására a deformáció növekedésekor a feszültség csökken, vagy állandó marad, valamint ritkább esetben a növekedés mértéke csökken. Itt a sejttrendszer kis térfogatában kezdeti törés jelentkezik. A változás mikrostrukturális, szemmel látható. Ha a terhelés a folyáspont alatt marad, a termék belső szerkezete nem szenved sérülést.
- **Roncsoláshatár (R):** a roncsolási görbének az a pontja, ahol a deformáció növekedésekor a feszültség meredeken és jelentős mértékben csökken. Ez a pont a görbe erőmaximuma. A sejttrendszer meglehetősen nagy térfogatában következik be a törés. Az alakváltozás makrostrukturális, a sérülés jól látható.
- **Merevség:** a görbe biológiai folyáshatáráig tartó kezdeti szakasznak iránytangensével jellemezhető. Ez a rugalmassági modulus vagy más néven Young-modulus. A szakasz megközelítőleg lineárisnak tekinthető.
- **Deformációs munka (T):** az anyag deformációsenergia-tároló képessége a rugalmas tartományban.
- **Szívósság:** a roncsolási határig befektetett munkával jellemezhető.
- **Keményiség:** A termék ellenálló-képessége a terheléshez használt nyomófej behatolásával szemben (László, 1999).

Az anyagok terhelés hatására folyamatos deformációval reagálnak, amely a kúszás jelensége. Ennek három szakasza van: csökkenő sebességű deformáció; közel állandó sebességű deformáció; deformáció sebessége nő, és a végén az anyag eltörik. Sitkei (1981) szerint a kúszás nem más, mint az anyagok folyamatos deformációja állandó feszültség hatására. Ez sárgarépnál azt jelenti, hogy állandó nyomóerővel addig terhelem, amíg el nem törik. Amikor tehermentesítem, megszűnik a rugalmas deformáció és a kúszási deformáció csökken. Ez a kirugózás folyamata, azonban a kúszási deformáció része megmarad, melynek mértéke a plasztikus deformáció.

Reológiai viselkedésük alapján megkülönböztethetünk ideális és nem-ideális anyagokat. Az ideális anyag lehet rugalmas test, plasztikus test vagy viszkózus folyadék. Ideális rugalmas test esetén a feszültség egyenesen arányos a nyúlással vagy a deformációval. A mezőgazdasági anyagoknál, zöldség- és gyümölcsfélénél a rugalmas és plasztikus alakváltozás egyaránt jelentkezik, ezért ezeket viszkoelasztikus anyagoknak nevezzük. Jellemző tulajdonságuk, hogy a biológiai folyáshatár alatti feszültség vagy deformáció hatására nem következik be jelentős alakváltozás, és a sejttrendszer nem sérül meg.

Ha a tapasztalati megfigyeléseket akarjuk leírni, szükség van a reológiai modellezésre. Ennek során 3 alaphatása érvényesül:

- Egytengelyű összenyomás, ahol a rugalmassági modulus határozható meg,
- Térfogati összenyomás, relatív térfogatsökkenés történet,
- Nyírás, nyírófeszültség határozható meg.

A reológiai modelleket az alapmodellek segítségével írhatjuk le, ezek:

- Hooke test (elasztikus test modellezésére)
- Newtoni test (viszkózus test modellezésére)
- St Venant test (plasztikus test modellezésére)

Mivel ezek az alapmodellek elméleti, ún. ideális anyagokra érvényesek, így az élelmiszerszerek csak ezek kombinációival írhatóak le, két-, három- esetleg több elemű modellek segítségével. A sárgarépa feltehetően viszkoelasztikus anyag, így a kételemű Maxwell modell (Hooke + Newtoni) segítségével lehetne felírni a reológiai viselkedését. A viszkoelasztikus anyagok másik jellemző tulajdonsága, hogy állandó deformáció esetén a feszültség az idő függvényében fokozatosan csökken, relaxáció zajlik le. A csökkenés mértéke az anyag szerkezetétől és deformáció nagyságától függ (Mohsenin, 1986; Sitkei, 1981; Steffe, 1996).

Az állomány meghatározására, mérésére több roncsolásos és roncsolásmentes módszert is kidolgoztak. Nyomófeszültségmérésen alapuló módszer az ún. Magness–Taylor-féle penetrométeres keménységmérés. A nyomófejet kézi vagy gépi előtolással belenyomják a mintába és a maximális erő, valamint deformáció mértékéből számítható a roncsolási feszültség mint keménységi mérőszám. A Magness–Taylor-féle készülékkel végzett mérés asztali ún. precíziós

penetrométerek segítségével is elvégezhető (pl. Instron, Texture Analyzer, Zwick stb.), de e műszerek segítségével lényegesen többféle mérés valósítható meg, a tartozék mérőfejekkel, ezáltal az élelmiszerek széles spektrumát képesek vizsgálni, roncsolásos és roncsolásmentes módon (Sherman, 1970). Az ilyen műszereknél a nagy pontossággal mérjük az erőt, de beállítható a mérési idő, a penetrációs sebesség, és a kapott eredmények a készülékhez tartozó szoftver segítségével ki is értékelhetők. A nyomófeszültségmérésen alapuló módszernél a deformáció függvényében mérjük az erő változását, azonban a mérések időigényesek.

Nyírófeszültségmérésen alapuló kvázistatikus keménységmérésnél (pl. Massy Twister) a terménybe egy téglalap alakú késpengét nyomnak, amelynek hosszanti tengelye mentén mérik az elfordítás nyomatékigényét. Az eredményekből meghatározható a termény biofolyási és roncsolási feszültsége. Másik módszer lehet a termény héjszilárdságának a mérése is. Ilyenkor egy gumikorongot a minta felületére nyomnak, amit állandó nyomóerő mellett forgatnak, és mérik a héj roncsolásához szükséges elfordítási nyomatékot (Borsa et al, 2002).

A termény betakarítását követően a tárolás alatt végbemenő fizikai változásoknak köszönhetően megváltozik a termény állománya, melynek vizsgálatára kiválóan alkalmasak a precíziós penetrométerek. A vizsgálatok során vágási, rugalmassági tesztek segítségével a szövetekben bekövetkező változások mértéke határozható meg.

Rashidi et al, (2010) a keménység alapján becsülték a sárgarépa nedvességtartalmát. Ehhez Hounsfield texture analyzer segítségével vágási tesztet végeztek. Megállapították, hogy a nedvességtartalom egy lineáris modell segítségével becsülhető a vágási erőből.

Corrêa et al (2010) friss répákat vizsgáltak 10, 20, 30°C hőmérsékleten és 45, 65, 95% páratartalmú klímakamrában 120 órát tárolva. TA.HD texture analyzer segítségével roncsolási tesztet végeztek egy 10 mm átmérőjű fejjel, 4N erővel, 10 mm/s sebességgel. A mérési eredmények szignifikáns különbséget mutattak az egyes csoportok között

Nyírási és vágási teszttel vizsgálták nyers sárgarépa roncsolásához szükséges maximális erőt. A keménység a tárolási idővel arányosan csökkent (Rashidi et al, 2009)

Budrewicz és társai (2005) nyolc különböző ipari sárgarépaajtát vizsgált frissen, két egymást követő évben terhelésteztet alkalmaztak UMT Instron 4301 penetrométer berendezéssel. 10 mm átmérőjű hengereket vágtak ki a sárgarépa három különböző részéből (szár felőli, középső és csúcsrész), és a répa tengelyével párhuzamosan roncsolták azokat. Ezt követően 40 mm hosszú hengereket vágtak ki a sárgarépa középső részéből és a tengelyükre merőlegesen roncsolták azokat. Mindkét esetben 7 mm-es roncsolási mélység mellett a maximális roncsolási erőt mérték. Erősen szignifikáns különbséget mutattak a fajták a tengelyre merőleges roncsoláskor szemben a

tengelyre párhuzamos roncsolással, és megállapították, hogy a kétfajta mérés kiegészíti egymást, és pontosabban leírja az ipari sárgarépák fizikai jellemzőit.

Keménysegtesztet végeztek friss sárgarépán Kohyama és munkatársai (2005). A friss répákból különböző vastagságú, de azonos alapterületű téglalapokat vágtak ki, és 8 mm átmérőjű hengeres fejjel, valamint ék alakú fejjel nyomták meg a mintákat. Sebességnek 1 mm/s-ot választottak és a terhelés mértéke nem haladta meg a minta magasságának 3%-át. Megállapították, hogy a törési hatás mértéke a hengeres fej esetében kisebb volt.

Herppich és munkatársai (2002) friss sárgarépa szöveti hőmérsékletének a keménységre gyakorolt hatását is vizsgálták. Metszőpengével szeletelték fel a sárgarépát, a répa merőlegesen helyezkedett el a pengéhez képest, és az erő-deformáció görbét vették el. Az eredmények megerősítették, hogy a termés keménysége függ a szöveti hőmérséklettől.

Alacsony hőmérsékleten és magas páratartalom mellett, illetve 18°C-on ellenőrzött páratartalom mellett két hétig tárolt sárgarépa keménységét vizsgálták összenyomással, és a 10N-hoz tartozó deformációt mérték (Herppich et al, 2001). Megállapították, hogy alacsony hőmérsékleten nőtt az ozmotikusan oldott anyagok mennyisége, miközben csökkent a minták rugalmassága.

Herppich et al, (2000) mechanikai igénybevételt követően (szállítózsalagról való leejtés után) 15 napig, 5°C-on és 6 napig 18°C-on, és 98%-os relatív páratartalomra tárolt sárgarépák rugalmasságát vizsgálták Zwicky berendezéssel. Egy 6,35 mm átmérőjű acélhengerrel megnyomták 10N erővel a mintákat, és az erőhöz tartozó rugalmasságot határozták meg. Megállapították, hogy a rugalmasság alacsonyabb hőmérsékleten nagyobb volt, de az alacsony hőmérséklet hatására merevedik a répa, ami befolyásolja az eredményeket. Az eredmények azt is mutatták, hogy a répák leejtése nincs hatással a rugalmasságra.

Sárgarépa összenyomási és relaxációs tulajdonságait vizsgálták (Segerlind et al, 1977), melyhez a cortex, azaz elsődleges kéreg nedvességtartalmának meghatározása után a rugalmassági tesztet végeztek. A répákból azonos vastagságú karikákat vágtak, majd Instron berendezéssel relaxációs tesztet végeztek, melynek során a sárgarépa hosszanti tengelyével párhuzamosan 10%-os deformációig nyomták a mintákat 30 s-ig, majd megszüntetve a terhelést figyelték a minták kirugózását. Az eredmények azt mutatták, hogy a maximális sugárirányú kompressziós erő és a viszkoelasztikus állandó erősen korrelál a kéreg nedvesség tartalmával

Habár sokan vizsgálták a sárgarépa rugalmasságát, a kúszás-kirugózási tesztet kevesen alkalmazták. Mivel a zöldségek (a sárgarépa is) és gyümölcsök viszkoelasztikus tulajdonságúak, így alkalmazható lenne a kúszás-kirugózási teszt.. A sárgarépa reológiai vizsgálatára gyakran alkalmazzák a Texture Profile Analysis tesztet, melynek lényege, hogy az emberi harapást modellezve a mintát kétszer roppanásig összenyomjuk. Ily módon információt kapunk az erőről,

deformációról, a minta visszanyert magasságáról, a minta rugalmasságáról, valamint az adott deformációhoz szükséges munkáról. Ezzel szemben a kúszás-kirugózás teszt során még megszabhatjuk a terhelés időtartamát, és a tehermentesítés után információt kaphatunk a vizsgált anyag plasztikusságáról is.

Krokida et al (2009) alma, banán, burgonya és sárgarépa viszkoelasztikus tulajdonságát vizsgálta kúszás-kirugózás tesztel. Ehhez négyféle szárítási technikát alkalmaztak (konvektív, vákuum, liofilezés, ozmotikus liofilezés). Szárítás és visszanedvesítés során meghatározták a nyomófeszültséget, a relatív deformációt, a rugalmassági tényezőt és a viszkoelasztikus kitevőt.

Nguyen et al (2007) nyomással támogatott hőkezelést hasonlította össze a hagyományos hőkezeléssel. Ehhez 10 mm átmérőjű és 10 mm magas hengereket vágtak a sárgarépákból, és Instron berendezéssel TPA tesztet végeztek, melynek során a minták magasságának 50%-áig terhelték azokat 1 mm/s sebesség mellett. Az adott terheléshez szükséges maximális erőt mérték, és 5-5 mérés átlagát használták fel az értékeléskor. Az eredmények azt mutatták, hogy a nyomással kiegészített hőkezelés során a minőségi tulajdonságok jobban megőrződtek.

Az irodalmak alapján megállapítható, hogy a betakarítást követően a tárolási módok, illetve szélsőséges körülmények mennyire befolyásolják a sárgarépa keménységét, a vágási és kompressziós tesztek segítségével információt kaphatunk fizikai állapotáról. Azonban nagyon sok gyümölcs és zöldség tartalmaz többféle szövetet, például a sárgarépa is. Ezek a szövetek különböző biológiai tulajdonságokkal rendelkeznek, melyeket az állomány vizsgálata során gyakran figyelembe kell venni (Abbott és Harker, 2004). Az irodalmak alapján felmerül a kérdés, hogy a kúszás-kirugózás teszt is alkalmas-e a sárgarépa tárolás alatt bekövetkező fizikai változásának nyomon követésére.

2.2.2. Dinamikus keménységmérési módszerek

A dinamikus keménységmérési módszerek egyetlen rövid impulzussal vagy gyorsan változó jelek sorozatával gerjesztik a vizsgált terményt és az anyag reakciója alapján (pl. hullámterjedés vagy rezonancia stb.) következtetnek a termény mechanikai jellemzőire.

Ütésvizsgálati (impact) módszer

A vizsgálat lényege, hogy összeütközik a minta és egy erő- vagy gyorsulásérzékelő. Az impact vizsgálatoknak több fajtája van:

- A termény erőmérő cellával felszerelt síklapra esik,
- Az erőmérő lapon álló terményre adott tömegű ütőfej esik,
- álló terményre erő- vagy gyorsulásérzékelővel felszerelt ütőfej esik,
- álló terményt erő-, gyorsulás- vagy elfordulásmérővel felszerelt inga üti meg.

Mindegyik mérési elrendezés esetén elmondható, hogy a változás összefüggésben van a minta mechanikai tulajdonságaival. Ezzel a mérési technikával a termény felületi keménységéről kapunk információt. A zöldségek és gyümölcsök széles palettáját vizsgálták már a módszerrel, elsősorban érettség megállapítására, keménység szerinti osztályozásra alkalmazzák (Borsa et al., 2002).

Arana et al (1998) Golden Delicious, Granny Smith, Starking és Top Red fajta almák lisztességét és őszibarack gyapjasságát vizsgálták. Mindkét tulajdonság rossz minőségi paraméternek számít. Egyrészt olyan roncsolásmentes módszert kerestek, amely érzékeli ezeket a negatív tulajdonságokat, másrészt az ismert mechanikai paramétereket más fizikai paraméterekkel akarták korreláltatni. Penetrációs, ún. referenciamérésre a Magness–Taylor féle módszert alkalmazták, mely során az erő/deformáció viszonyt, az erő/deformáció gradienst, valamint szűrőpapír segítségével a mérés során felhalmozódott lé felületének nagyságát mérték. Az ütésvizsgálatnál a maradandó deformációt határozták meg három, különböző magasságból történő ejtéssel. Megállapították, hogy a vizsgált jellemzők mérhetőek az ütésvizsgálati módszerrel. 4°C-on 75 napig tartó tárolás során 15 naponta végeztek mérést. 20 mm átmérőjű gömb alakú fejjel ütötték meg az almákat 2, 5 és 8 cm magasságból. Számítógép rögzítette az ütésvizsgálati változókat, azaz a maximális ütésvizsgálati erőt, a maximális erőig tartó időt, a maximális deformációt, a maradék deformációt, az ütésvizsgálat időtartamát és az elnyelt energiát. Megállapították, hogy a lisztessége csak a Granny Smith fajta almának nem nőtt a tárolás során.

Chen és tsai (1996) azt is vizsgálták, hogyan függ az ütőtömegtől és az ejtési magasságtól a kapott impact jel. Megállapították, hogy az ütőfej tömege nagy hatással van a kapott keménységtényezőre. Referenciamódszerként a Magness–Taylor-féle keménységvizsgálatot alkalmazták. Kisebb tömegű fejjel nagyobb különbséget tapasztaltak a kemény és puha gyümölcs mérésénél. Az ejtési vizsgálatoknál megállapították, hogy az ütőfej tömegétől és az ejtési magasságtól is függ a roncsolódás mértéke, itt is a kis tömegű fej alkalmazása bizonyult pontosabb és kevésbé veszteséges módszernek.

Jarén és Garcia-Pardo (2002) a betakarítást követő tárolás alatt bekövetkező változások nyomon követésére alkalmas legjobb impact paramétert keresték. Létrehoztak egy adatbázist, amely egy későbbi on-line válogatósor kialakításához 2-2 alma- és körtefajta tárolása során rögzített változásokat tartalmazta. Az általuk használt ütésvizsgálati módszerrel egy 50 g-os gyorsulásérzékelőt ejtettek az almákra 3 cm, a körtékre 4 cm magasságból. A kapott gyorsulási görbét az idő függvényében ábrázolva 11 paramétert határoztak meg, köztük a maximális erőt, a maximális gyorsulást, a maximális deformációt, a maximális erőig tartó időt, az impact görbe általános meredekségét, a maximális erő és a maximális erőhöz tartozó idő négyzetének hányadosát, valamint a hullám végéig eltelt időt. Kontrol módszerként Magness–Taylor-féle keménységmérést végeztek. Szignifikáns különbséget találtak a minták keménységében a tárolási idő alatt, tehát a

minták utóérték. Továbbá mindkét gyümölcsfaj esetében az ütésvizsgálati keménységtényező változása hasonló trendet mutatott a tárolási idő függvényében. Ha a tárolás során bekövetkező utóérést három csoportba osztották, akkor a minták a 11 meghatározott impact paraméter számolt értékeinek alapján 100 %-osan kategorizálhatóak voltak. Eredményeikből megállapították, hogy a rendszer mind a 11 paramétert felhasználva alkalmas minden, a már meghatározott fajtájú gyümölcsről olyan jellemzést adni, melynek alapján érettségi osztályokba sorolhatóak.

Yurtlu (2012) három fajta őszibarack keménységét és érettségét vizsgálta 5 napon át, 20°C-on tárolva. Ütésvizsgálathoz Impact Sensor 2.0 készüléket használt, amely piezoelektromos gyorsulásérzékelővel ellátott, kistömegű (10g) golyóból, a golyót kinyomó rugóból és a golyót visszahúzó elektromágnesből áll. A mérés során a maximális gyorsulást rögzítette paraméterként. Kontrolmérésként a TA-XT2 típusú texture analyzert alkalmazta roncsolásmentes és roncsolásos mérésre, egy 8 mm átmérőjű hengeres fejjel. Roncsolásmentes méréshez a biofolyáshatárig nyomta a fejet 18 mm/perc sebességgel és mérte a biofolyáshatárhoz tartozó erőt, valamint kiszámolta a rugalmassági modulust. A roncsolásos módszernél a fejet 8 mm mélyen nyomta a mintába és ugyancsak kiszámolta a rugalmassági modulust. A hagyományos és roncsolásmentes módszer között gyenge kapcsolatot talált, de a maximális gyorsulás és rugalmassági modulus között a kapcsolat elfogadhatónak bizonyult.

Muha és Istella (2005) vizsgálták a roncsolásmentes, gyors, fizikai módszerek alkalmazhatóságát a termények paramétereinek meghatározására. Ezért akusztikus keménységtesztet, és ütésvizsgálati módszert alkalmaztak. Előbbinél akusztikus hangválasz módszerével a frekvenciából és a tömegből, utóbbinál az első hullám maximumáig tartó idő négyzetének reciprokából határozták meg a keménységi paramétereket. A mérések során vizsgált anyagok retek, sárgarépa, hagyma, paprika, burgonya és paradicsom voltak, melyeknek mérésére alkalmazhatónak találták az említett módszereket. Megállapították, hogy a sárgarépa esetében az akusztikus módszer alkalmasabb a keménység meghatározására, mint az ütésvizsgálat.

A feldolgozott irodalmak azt mutatják, hogy az ütésvizsgálati (impact) módszer alkalmas az érettség meghatározására, a tárolás során bekövetkező fizikai változások nyomon követésére, de a dinamikus módszer mellett gyakran megtalálhatóak a már jól bevált kvázistatikus keménységvizsgálati módszerek. Meghatározó az impact módszer során alkalmazott mérőfej tulajdonsága, a mérőfej és a minta közötti távolság is. Megállapítható továbbá, hogy amilyen széles körben alkalmazzák az impact módszert, olyan sok a mérés során meghatározott impact paraméter is, illetve a mérések fajtája is eltérő.

Sárgarépa roncsolásmentes vizsgálatáról azonban kevés irodalom lelhető fel, gyakrabban alkalmazzák az akusztikus keménységmérést, mint roncsolásmentes módszert. Az irodalom alapján felmerül a kérdés, hogy a módszer képes-e megkülönböztetni a sárgarépa különböző

szövetípusainak a keménységét, és nyomon követhető-e a tárolás alatti keménységváltozás ezekben a szövetekben?

Akusztikus módszer

A dinamikus keménységvizsgálatok másik nagy csoportja a termény rezgéseit vizsgálja. Ennek több fajtája van:

- állandó vagy pásztázó frekvenciájú mechanikai gerjesztés hatásának vizsgálata elmozdulás- vagy gyorsulásérzékelővel
- mechanikai hullámok terjedésének vizsgálata (akusztikus vagy ultrahangos terjedési sebesség vagy csillapítás)
- akusztikus hangválasz módszer: a mechanikai gerjesztés (kis energiájú ütés) hatására kialakuló sajátrezgések vizsgálata

Fontos szerepük van a roncsolást nem okozó, állománytesztelő, hordozható egyszerű készülékeknek, és figyelemre méltó eredményekkel szolgálnak az akusztikus keménységvizsgálatok (Borsa et al, 2002; Sáray, 2006). Az akusztikus módszer segítségével roncsolásmentesen kapunk információt a termény globális keménységéről (Felföldi és Fekete, 2003). Istella és Felföldi (2003) szerint a minőségi paraméterek mérhetőek gyors, roncsolásmentes módszerekkel. Az akusztikus keménységméréssel mérhetőek az állományban bekövetkező változások. Az ép gyümölcsök és zöltségek rezonanciafrekvenciája csökken az éréssel, és közvetlenül kapcsolódik merevségükhöz, keménységükhöz és érettségükhöz (Abbott et al, 1968).

Armstrong és tsai (1997) a vibrációs módszer rezonancia frekvenciáját alkalmazták kétfajta őszibarack keménységének mérésére. Egy olyan akusztikus elrendezést alkalmaztak, amelynél az alátámasztásra helyezett mintát oldalról ütik meg, és a minta átellenes oldalán rögzítik mikrofonnal az ütésre kapott hangválaszt. Az akusztikus módszer mellett Magness–Taylor-féle keménységvizsgálatot, Effegi keménységmeghatározást és ütésvizsgálatot is végeztek. Az eredmények mindkét fajta esetében erős kapcsolatot mutattak az akusztikus keménységtényező és az Effegi-keménység között.

Fekete és Felföldi (2000) kapcsolatot keresett a rugalmassági tényező, a roncsolási feszültség, az akusztikus keménységtényező és a különböző érettségi állapotú almák, körték, őszibarackok és kajszibarackok roncsolási feszültsége között. Roncsolásos teszthez a Magness–Taylor-féle módszert választották, mellyel meghatározható a rugalmassági modulus és a roncsolási feszültség. Roncsolásmentes mérésként az akusztikus hangválasz módszerrel határozták meg az akusztikus keménységtényező értékét. A rugalmassági tényezőt alkalmasnak találták a termények felületéhez közeli, pár mm-es mélységben lévő hús keménységének meghatározására, míg az akusztikus keménységtényezővel a termény teljes keménységéről kaptak információt.

Változó frekvenciájú rezgéssel történő gerjesztéssel vizsgálták kiwi érettségét, és korrelációt találtak a penetrációs méréssel Muramatsu és tsai, (1997).

A gyümölcsök és zöldségek érettségi állapotát követően fontos, hogy a betakarítás után is információt kapjunk a termés keménységéről legyen az valamilyen feldolgozás vagy tárolás.

Zsom és társai (2005) a paprika pulton tarthatóságát vizsgálva csomagolatlanul, valamint kis sűrűségű polietilénből készült zacskóban tárolták a mintákat 10°C-on és 20°C-on. A jellemző frekvenciából és a minta tömegből számolták az akusztikus keménységtényezőt. Megállapították, hogy a csomagolás növeli a termék pulton tarthatósági idejét.

Zude és társai (2006) különböző tárolási körülmények között, hűtőszekrényes tárolással és szabályozott légterű tárolással 4°C-on, 90%-os páratartalom mellett tárolva vizsgálták alma keménységét akusztikus vizsgálattal. A rezonancia frekvencia 1. csúcsával és a tömeggel határozták meg a keménységtényezőt, amely jól korrelált a gyümölcs állományával és az érzékszervi mérésekkel.

Shmulevich és társai (2003) alma szabályozott légterű tárolását, illetve pulton tarthatóságát vizsgálták egy elektromechanikus működtetésű kistömegű ingával és piezoelektromos filmérzékelőkkel ellátott berendezéssel. Az akusztikus keménységtényezővel nyomon követték a szabályozott légterű tárolás alatt a keménység változását, illetve meghatároztak egy, a puhulást leíró összefüggést, amely alkalmazható az eltérő fajtákra és tárolási körülményekre.

Istella és tsai (2006) sárgarépa keménységét vizsgálták tárolás során akusztikus módszerrel és a jellemző frekvencia, valamint a tömeg segítségével határozták meg a keménységtényezőt. Bangor, Olympus, Napa és Bolero fajtatípusok vizsgálata során megállapították, hogy a Napa és Bolero csak rövid idejű tárolásra alkalmas fajtatípusok, mert 112 napos tárolás során 20% alá csökkent relatív akusztikus keménységük értéke. Ezzel szemben a másik két vizsgált fajtatípust alkalmasnak találták hosszú idejű tárolásra is.

Zsom-Muha és Felföldi, (2007) azt vizsgálta, hogy hosszúkas terményeknél, mint például a sárgarépa, a termés rezonanciafrekvenciája milyen paraméterrel korrigálva adja a termés keménységére jellemző legpontosabb akusztikus keménységtényező értéket. Három paramétert vizsgáltak: geometriai paraméterekből kiszámolt effektív mintahosszt, a termés tömegét és a minta hosszát. Megállapították, hogy az eddig tömeggel korrigált értéknél jobb eredményt adott a termés hosszával korrigált akusztikus keménységtényező.

A dinamikus keménységvizsgálat, így az akusztikus módszer esetén is gyakran összehasonlítják a kapott eredményeket a már jól bevált, referenciamódszerként alkalmazott kvázistatikus keménységmérési módszerek eredményeivel.

Fekete és társai (2000) a paradicsom keménységét vizsgálták akusztikus módszerrel. A frekvencia és tömeg segítségével határozták meg a keménységtényezőt, valamint roncsolástesztet is

végeztek, melyből a roncsolási feszültséget és a feszültség/deformáció hányadost határozták meg. Az akusztikus keménységtényező és a roncsolási feszültség között kapcsolatot találtak.

Diezma-Iglesias et al (2006) akusztikus és impact módszerrel vizsgálták kétfajta őszibarack keménységét 10 napon át 10 és 20°C-on. Az akusztikus mérés során egy 13 g-os ingára szerelt fém golyót ejtettek 30 mm magasságból a mintára, és a kapott hangválaszt a minta átellenes oldalán mikrofonnal rögzítették (a mikrofon 2-4 mm-re helyezkedett el a mintától). Referenciamódszerként Texture Analyzer segítségével Magness–Taylor-féle szűrástesztet és egy 1,8 mm átmérőjű golyó mérőfejjel hiszterézisvizsgálatot is végeztek. A szűrástesztet a minták mindkét oldalán elvégezték egy 8 mm átmérőjű fejjel, 20 mm/perces sebességgel. A szűrásteszt során a maximális erőt, a biofolyáshatárhoz tartozó maximális erőt, és a görbe meredekségét vizsgálták; a hiszterézisvizsgálat során a maximális erőt, a terhelési görbe alatti összes munkát, a visszaterhelési görbe alatti rugalmas munkát, valamint a rugalmassági fokot határozták meg. Összehasonlították a roncsolásos és roncsolásmentes módszerek paramétereit, és az impact módszernél meghatározott maximális gyorsulás jó korrelációt mutatott a hiszterézisvizsgálat során mért maximális erővel, valamint az impact és akusztikus módszereket kombinálva még nagyobb volt a korrelációs koefficiens. Az akusztikus módszert alkalmasnak találták válogatórendszerben keménység meghatározásához.

Az akusztikus módszerrel a zöldségek és gyümölcsök széles köre vizsgálható. Mivel roncsolásmentes mérést biztosít, így a termény érése során, illetve betakarítást követő tárolás alatt is információt nyerhetünk a keménység alakulásáról. A műszer nemcsak gömbölyű (alma, paradicsom, hagyma stb.), hanem hosszúkás alakú termények (uborka, sárgarépa stb.) vizsgálatára egyaránt alkalmas. A termény alakjától függően az átmérő, a tömeg vagy a hosszúsággal korrigált akusztikus keménységtényező kiszámítása szükséges.

A normál légterű, hagyományos (pl. pincében történő) tárolás esetében az élettani folyamatok gyorsabban zajlanak, ennek következtében a termény tárolhatósági ideje rövidebb. Kérdés, hogy kimutatható-e a módszerrel a hagyományos tárolás alatti intenzívebb változás során az a minőségi határérték, amelynél a termék még eladható?

2.3. Optikai mérési módszerek

2.3.1. Közeli infravörös spektroszkópia (NIR)

Sir Isaac Newton volt az első, aki leírta tapasztalatait az infravörös spektroszkópiáról. William Herschel 1800-ban fedezte fel a közeli infravörös sugárzást, de nem hitte, hogy a fény és a sugárzó hő között kapcsolat van. 1835-ben Ampère bizonyította be, hogy csak hullámhossz különbség van közöttük. 1864-ben James Maxwell megfogalmazta az elektromágneses sugárzásokra vonatkozó hullámelméleteit (Davies, 2005).

A közeli infravörös (NIR) hullámhossz tartomány 780-2500 nm között helyezkedik el. A NIR technika a minta és az infravörös fotonok kölcsönhatását használja fel, a fénykvantum hatására a molekulák rezgési és forgási állapotai gerjesztődnek, eközben a fotonok egy része elnyelődik. (abszorpció), másik része áthalad a mintán (transzmisszió), és bizonyos része más utat jár be (pl. diffúz reflexió, elhajlás, szóródás).

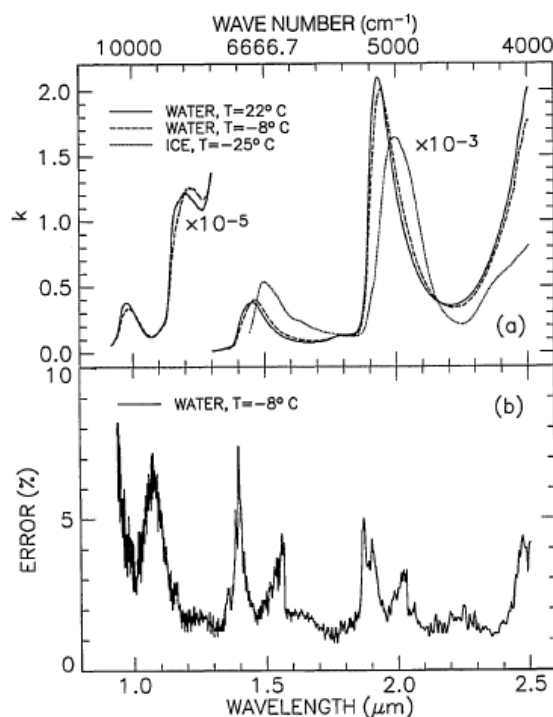
A molekulák atomjai közötti kémiai kötések hossza és egymással bezárt szöge változhat, azaz a molekula rezeghet; ennek a rezgésnek az energiája és a frekvenciája az adott molekulára jellemző diszkrét értékeket vesz fel. Az ezen diszkrét energiaszintek közötti átmenet kiváltható gerjesztéssel, amikor a molekulát megfelelő hullámhosszú sugárzás éri; a sugárzás eközben szóródik vagy elnyelődik. Abból, hogy milyen hullámhosszak nyelődtek el, következtethetünk az anyag összetételére. Ezen az elven működik az infravörös spektroszkópia. Közeli infravörös tartományban a molekularezgések (víztartalom esetén az O–H rezgések) felhangjai és kombinációi jelennek meg, amelyek ugyan néhány nagyságrenddel kevésbé abszorbeálóak, de ezt kompenzálja a műszerek nagyobb érzékenysége. A közeli infravörös spektroszkópia érzékenysége rosszabb, mint az infravörösé, viszont mélyebbre hatol az anyagban. A molekuláris felhang- és kombinációs sávok jellemzően nagyon szélesek, így a spektrumok összetettek; nehezen lehet az egyes kémiai összetevőket egyedi spektrális jellemzőkkel leírni. Az abszorpciós spektrumon jelentkező csúcsok jelzik a beltartalmi jellemzők jelenlétét a vizsgált anyagban (Nicolai et al, 2007).

A spektrum a szerves molekulákban előforduló kötések különböző hullámhosszoknál való fény abszorpciójának eredménye. A spektrumok több összetevő egyidejű meghatározására adnak lehetőséget. A minták fő kémiai alkotóelemeinek főkomponenseit, valamint fizikai jellemzőket is mérhetünk, azonban a mennyiségi meghatározás kalibrációt igényel. További probléma, hogy sokkomponensű minták esetében túlságosan sok információt rejt a spektrum, így előfordulhat, hogy több alkotóelem csoportrezgésének abszorpciós maximuma egybeesik, azaz a csúcsok elfedik egymást. Ilyen például az O–H csoport a víz és a szénhidrát esetében (Gergely, 2005).

A hidrogén több szempontból is befolyásolhatja a NIR spektrumot: egyrészt a molekulán belüli kötések miatt, másrészt másodlagos hidrogénkötéseket létrehozva a molekulák közötti kölcsönhatásokon keresztül. A vízben kialakuló hidrogénkötés komplex folyamat, a kötés kialakulását befolyásolhatja a hőmérséklet, a pH értéke, az ionkoncentráció stb. A mintában jelen lévő víz hatással van a többi összetevő abszorpciójára, és a nagy mennyiségű víz abszorpciós csúcsai torzítják a spektrumot (Davies, 2005).

Nem jelenthetjük ki adott beltartalmi anyag esetén, hol a definiált abszorpciós csúcsa, mert a jelszint elhelyezkedése és intenzitása rendkívül anyagfüggő. Pl. a víz esetében Kou (1993) az abszorpciós csúcserőértéket 1443 nm-nél állapította meg, ezzel szemben Büning-Pfaue (2003) két

jellegzetes vízcsúcsot jelölt meg a közeli infravörös tartományban, 1450 és 1940 nm-nél. Az 5. ábrán található a víz abszorpciós spektruma különböző hőmérsékleteken (Kou, 1993).



5. ábra Különböző hőmérsékletű víz abszorpciós csúcsai (Kou, 1993)

A mezőgazdasági anyagok, termények, élelmiszerek víztartalmának és más beltartalmi jellemzőinek vizsgálatában alapvető a vizuális és közeli infravörös spektrális tulajdonságok mérése. A víztartalom különösen fontos minőségi szempont a friss terményeknél. A vízcsökkenés a sárgarépákban szemrevételezéssel is becsülhető. Sárgarépa tárolása során a bekövetkező minőségromlás alapvetően összefügg a nedvességtartalommal. Ebből következően a nedvességtartalom spektrális jellemzői alapján következtetni lehet a sárgarépa minőségének csökkenésére. Abu-Khalaf és tsai (2004) sárgarépa fajták nedvességtartalmát mérték NIR jellemzőkkel. Háromfajta sárgarépát vizsgáltak, és megállapították, hogy a NIR reflektancia segítségével a répa fajták megkülönböztethetők.

Schulz et al (2000) sárgarépa fő összetevőit vizsgálták NIR reflektanciával. Az első kísérleti évben öt, az azt követő évben pedig tízfajta sárgarépát vizsgáltak meg. Referenciaadatnak friss sárgarépalevet készítettek, és annak α - és β -karotin, valamint glükóz-, fruktóz-, szacharóztartalmát mérték HPLC segítségével. A NIR készülékkel (NIR System 5000) 1100-2490 nm között 700 adatot gyűjtöttek spektrumonként, és a módszer segítségével β -karotin tartalom szerint sikeresen különböztették meg egymástól az egyes sárgarépa fajtákat.

De-Belie és tsai (2003) sárgarépa fajták érzékszervi változásait vizsgálták hőkezelés során. Az állományváltozást és az édesedést látható és közeli infravörös technikával mérték. A

sárgarépakat műanyag, perforált zacskókba zárták és 4°C-on 14 napig tárolták. A mérésekhez korongokat vágtak, hőkezelték a mintákat különböző ideig 100°C-os vízben. NIR reflektanciát mértek, a sárgarépa farészén és hancsrészén 400–2498 nm közötti tartományban. Különbséget találtak a farész és hancsrész spektrumában. A mintákat fizikai vizsgálattal is elemezték. Az eredmények azt mutatták, hogy a főzött sárgarépak minőségi becslésére a NIR reflektancia kiválóan alkalmas, ez alapján a PLS becslés jó eredményt adott a keménység és ropogósság tulajdonságokra.

Quilitzsch és tsai, (2005) 11 fajta + 3 keresztezett fajta sárgarépat vizsgáltak, meghatározták színmérővel a homogenitásukat, L^* a^* b^* színjellemzők segítségével. NIR mérést végeztek FT-IR berendezéssel. Meghatározták az α - és β -karotint és a szárazanyagtartalmat. Utóbbi méréshez referenciaként HPLC mérést is végeztek. Megállapították, hogy spektroszkópiai módszerek önmagukban nem elegendők a beltartalmi jellemzők meghatározásához, szükség van fizikai és / vagy kémiai módszerekre is. Továbbá jobb eredmények érhetőek el, ha az elektromágneses spektrumon szélesebb sávban vizsgálódnak, pl: a látható és az ibolyán túli mérésekkel is.

A NIR technika alkalmazásával élelmiszerek alkotóelemeinek széles skálája vizsgálható, továbbá egyes beltartalmi jellemzők alapján sikeresen megkülönböztethetők a fajták is. Azonban ezeknél a módszereknél is elengedhetetlen, hogy referenciamódszert, például HPLC vizsgálatot alkalmazzanak. A sárgarépa idényjellegű termény, melynek téli tárolásával biztosítható, hogy egész évben kielégítse a keresletet. Azonban nem megfelelő tárolási körülmények között (magasabb hőmérséklet, alacsonyabb relatív páratartalom) a bekövetkező túlzott nedvességvesztés rövid időn belül, szemmel látható változást eredményez a terményben. A nedvesség NIR technikával történő detektálása elérhetővé teszi a fogyasztók számára a minél frissebb zöldségeket.

2.3.2. Szín alakulása tárolás során

Leonardo da Vinci volt az első, aki tudományos alapossgal foglalkozott a színekkel, fényekkel és árnyékokkal A 17-18. század fordulóján Sir Isaac Newton üvegprizmával kísérletezve fedezte fel, hogy a fehér szín a szivárvány színeire bontható. Goethe a 18-19. század fordulóján a színek fiziológiai-lélektani vonatkozásaival foglalkozott. A kiegészítő színekkel, a színek pszichológiai hatásaival kapcsolatos megfigyelései és megállapításai ma is helytállóak. Tanítványát, Schopenhauert, maga Goethe tanította színelméletre. Schopenhauer úgy gondolta, hogy a színérzet létrejöttében jelentős szerepe van az agyműködésnek.

Helmholz a 19. században a spektrum hullámhosszainak és az általuk kiváltott színérzet kapcsolatát vizsgálta. A mai színelmélet alapját a Young–Helmholz-féle háromszínelmélet képezi. Edwald Hering (1878) elmélete szerint a vörös-zöld, sárga-kék, fekete-fehér ingerek kioltják egymást a receptorokban, így a kódolás miatt egyszerre nem észlelhetünk ellentétes színeket (Abrahám, 1998; Firtha, 2011).

A 20. században fogalmazódott meg az igény a színek mérésére. 1905-ben Munsell, amerikai festőművész 4000 tagból álló színmintagyűjteményt dolgozott ki. Ostwald német kémikus-fizikus nevéhez köthető egy másik fontos színrendszer, amely a színharmóniakon alapszik.

A Nemzetközi Világítástechnikai Bizottság (Commission Internationale de l'Eclairage, CIE) 1931-ben elfogadta az additív színkeverésen alapuló trikromatikus színmérő rendszert. A tapasztalat szerint három független alapszínből bármely szín additív módon kikeverhető. A CIE által választott alapszínek, amelyek az RGB színrendszer alapját alkotják, a 700 nm hullámhosszúságú vörös (R = red), az 546,1 nm-es zöld (G = green) és 435,8 nm-es kék (B = blue) spektrumszínek. Számítástechnikai szempontból a CIE célszerűnek találta, hogy az RGB alapszínek helyett minden valóságos színre kizárólag pozitív koordinátákat adó alapszíneket válasszanak. Az új X, Y, Z alapszíneket úgy kellett megválasztani, hogy az általuk alkotott háromszög teljesen körülzárja a spektrumvonalat és a bíborvonalat (Ábrahám, 1998).

A CIE által létrehozott színínger mérésére szolgáló alapszínrendszerek egyike az 1976-ban alkotott CIELab, melyből a CIELab színjellemzők ($L^*a^*b^*$) számíthatók (Firtha, 2011). Ezekből a színjellemzőkből további értékek számolhatók, mint a króma (C_{ab}^*) (Barreiro et al, 1997; Lopez et al, 1997), fehéredési index (WI) (Hsu et al, 2003), sárgásodási index (YI). Utóbbit vizsgálták gomba szárítása közben (Kotwaliwale et al, 2007) Megállapították, hogy a szárítás alatt a fehéredési index értéke csökkent, míg a sárgásodási index értéke nőtt.

A szín a zöldségek és gyümölcsök jellemzésének fontos paramétere, amellyel az érettség, a romlásmentesség is meghatározható. A döntést általában az alapján hozzuk, hogy milyen a termés felületének a domináns színe (Baranyai és Szepes, 2002). Általánosan elmondható, hogy sárgarépa tárolás során veszít a tömegéből és a nedvességtartalmából (Zanoni et al, 2007), ami változást okoz a színében is. A színváltozás műszeres vizsgálat nélkül is látható ugyan, mert a nedvességvesztésnek köszönhetően a fakul, fehéredik a répa felszíne. Azonban bizonyos kezeléseknél, mint például a szárítás, fontos, hogy esztétikai és élvezeti értékét se veszítse el a technológiai folyamat alatt.

Patras et al, (2009) piacon vásárolt, majd felszeletelt sárgarépát vizsgáltak különböző tárolás időtartamok során, céljuk a minőségi paramétereik becslése volt. A sárgarépákat hússzeletelével 5 mm vastag szeletekre vágták, előfőzték (50°C/30 perc és 90°C/5 perc). Ezt követően 4 csoportra osztva sterilizáltak azokat. Az egyik csoportot nem kezelték, a másik hármat 3, 15 és 50 percig strilizálták. Hunter Lab DP-9000 színkülönbség-mérővel az $L^*a^*b^*$ paramétereket, a színínger-különbséget (ΔE) és krómát (C_{ab}^*) határozták meg. Szignifikáns különbséget tapasztaltak a sárgarépaszeletek színíngerkülönbségében, azonban a kontrol és a 3 percig sterilizált minták nem mutattak szignifikáns különbséget. Regressziós modellel vizsgálták a kezelési idő és tárolás hatását. A becslés alacsony becslési hibával és magas R^2 értékkel sikeresnek bizonyult.

Zielińska és tsai (2005) 34 fajta sárgarépa színváltozását követték nyomon szárítás során, valamint színben homogén csoportokat kerestek. A színvizsgálatot érzékszervi bírálattal és műszeresen is elvégezték, mert céljuk volt kapcsolatot találni a két módszer között. Sikerült statisztikailag szignifikáns kapcsolatot találniuk a módszerek között, valamint öt fajta esetben találtak a színben homogenitást, ami a többi fajtától eltérően az eredmények kisebb szórásában mutatkozott meg.

Araya et al (2009) a nagy nyomáson kezelt sárgarépákat hasonlította össze a nyers, vákuumkezelt és főtt sárgarépákkal. A helyi piacról származó mintákat a vásárlást követően 3 hétig 1°C-on tárolták. Ezt követően a répákat megmosták, meghámozták, és 7x7x100 mm-es hasábokra vágták. Az érzékszervi bírálat és fizikai vizsgálat mellett mérték a CIEL*a*b* színjellemzőket az 1., 7. és 14. napon. Az eredmények a b* értékében a tárolás alatt nem mutattak szignifikáns különbséget az egyes kezelésekből, azonban az a* értéke a nyers minta esetében bizonyult a legmagasabbnak, és szignifikáns csökkenést mutatott a tárolás alatt.

A betakarítás után a sárgarépa eltarthatóságának vizsgálatához érzékszervi és fogyasztói szempontból fontos tényezőnek számít a termény színe. Az említett kísérletek csupán izelítőt nyújtanak a sárgarépa színvizsgálatából. A különböző kezelési technikák révén, a színjellemzőkben bekövetkező változások nagyobb léptékűek lehetnek, mint a tárolás alatt jelentkező esetleges változások.

2.4. Íz jellemzők mérése elektronikus nyelvvel és érzékszervi vizsgálattal

2.4.1. Elektronikus nyelv

A jövőben a gyártóknak érdeke lesz műszeres módon információt gyűjteni az érzékszervi tulajdonságokról. A paraméterek szoros kapcsolata az íz és/vagy az illat tulajdonságokkal mérhető analitikai módszerekkel, és az érzékszervi kiértékelés ellenőrzése után a műszeres adatok érzékszervi információkká alakíthatók (Munoz, 2002). Ezek közül az egyik technika az elektronikus nyelv, amely a minták átfogó tulajdonságait méri (Toko, 2002a). A műszer hét potenciálkülönbségen alapuló elektrokémiai szenzort, egy Ag/AgCl referenciaelektrodot, egy, a kapott jel előfeldolgozását végző elektronikus egységet, valamint egy, az adatokat megjelenítő számítógépet tartalmaz. Mindegyik szenzor érzékeli az alapízeket, de eltérő érzékenységgel. A mérés során igen kis változás is jól detektálható.

Kántor és tsai (2008) szabályozott légtérben tárolt háromfajta őszibarack vizsgálatát végezték elektronikus nyelv segítségével. Megállapították, hogy a módszer alkalmas arra, hogy nyomon kövesse a betakarítást követő különböző technikák alkalmazásának barackra gyakorolt hatását. Továbbá megállapították, hogy összefüggés található az érzékszervi tulajdonságok és az

elektronikus nyelvvel kapott eredmények között, valamint, hogy a műszeres mérés sokkal érzékenyebbnek bizonyult az érzékszervi vizsgálattal szemben.

Az elektronikus nyelv alkalmazási köre folyamatosan bővül (Vlasov et al, 2002). Toko (2002b) pl. különböző kereskedelmi forgalomban levő paradicsomlevelek megkülönböztetésére említ különböző alkalmazásokat a könyvében. Beullens et al (2006) elektronikus nyelv és ATR–FTIR technikával vizsgálták az új kereskedelmi forgalomban lévő paradicsomlevelek cukor- és savprofilját. A mérés sikerének érdekében referenciamódszerként HPLC mérést is végeztek. Megállapították, hogy az elektronikus nyelv alkalmas a mérésre, azonban még nem elég érzékeny az egyedi cukrok és a szerves savak kimutatására.

Az elmúlt pár évben különböző folyadékok tulajdonságait vizsgálták elektronikus nyelv és/vagy elektronikus orr segítségével, valamint érzékszervi vizsgálattal. Végezték borok ízjellemzőinek vizsgálatát (Legin et al, 1999), kereskedelmi forgalomban kapható szójatejek összehasonlítását (Kovács et al, 2009b), ásványvizek ízjellemzőinek vizsgálatát (Kovács et al, 2009a), fekete tea eredetiségvizsgálatát (Kovács et al, 2010), almalevek ízjellemzőinek vizsgálatát (Kovács et al, 2011) és különböző citrusfélékből készült levek vizsgálatát (Hartyáni et al, 2011) is.

Kovács et al. (2012) öt különböző márkájú sárgarépa levét vizsgált érzékszervi bírálattal és elektronikus nyelvvel. A bírálók szignifikáns különbséget találtak a levek egyes tulajdonságaiban, mint külső megjelenés, illat, valamint az ízjellemzőkben, mint savanyú íz, édes íz és az íz megtartása. Főkomponenselemzéssel megállapították, hogy az elektronikus nyelvvel vizsgált savanyúság alapján tisztán elkülönültek a minták, és azonos sorrendet mutattak a bírálók által felállított rangsorral.

A kereskedelmi forgalomban kapható számos gyümölcs- és zöldséglé, valamint más élelmiszeripari folyadékok vizsgálata bemutatta, hogy az elektronikus nyelv segítségével kis különbségek is kimutathatók az ízjellemzőkben, legyen a különböző márkák összehasonlítása vagy a betakarítás utáni kezelések, terményre gyakorolt hatásának detektálása. Szükség lenne azonban a zöldségek és gyümölcsök hagyományos tárolása során végbemenő ízjellemző-változások vizsgálatára is.

2.4.2. Érzékszervi vizsgálat

Az érzékszervi vizsgálat fontos eszköz a fogyasztók számára, amikor élelmiszert választanak. Azonban noha az érzékszervi értékelés szubjektív és nem reprodukálható módszer, mégis sokan próbálták már leírni a kapcsolatot a sárgarépa érzékszervi és kémiai tulajdonságai között (Lawless, 1995; Seljåsen et al, 2001). Az érzékszervi jellemzők a vizsgált anyag pozitív és negatív tulajdonságairól is adhatnak információt, számos érzékszervi bírálat szabvány létezik.

Például a sárgarépa esetében az érzékszervi értékelés során a külső és belső tulajdonságokat számos jellemzővel írhatjuk le (ISO 5492 szabvány):

- **Külső megjelenés:** fehérség, szín, színezet, színerősség, elszíneződés, frissesség, alak, hengeresség, megjelenés
- **Illat:** átfogó íz, intenzitás, sárgarépa jellemző, éles, zöld, terpentin, dízel, benzin, etanol, karton, földi, gyümölcsös, friss, dohos, áporodott, diós, édes, keserű, égető, csípős, virágos
- **Állomány (tapintás és harapás/rágás):** keménység, ropogósság, szaftosság, szappanosság, olajos tapintás, fásság, ropogósság, rágósság, nedvesség, szivacsosság, szívóosság.
- **Íz:** édes savanyú, savas, keserű, sós, intenzív, utóíz, zöldíz, földíz, borsos, sárgarépa jellemző (Kjellenberg, 2007)

Rosenfeld és társai (1997) a termőhely érzékszervi, minőségi paraméterekre gyakorolt hatását vizsgálták ötfajta sárgarépa esetében, és leírták az érzékszervi jellemzőket, 17 tulajdonságot választottak ki, PCA elemzést végeztek, ahol az 1. főkomponens írta le az utóízt, keserű ízt, terpén aroma, aromaintenzitást, zöld ízt. A 2. főkomponens tulajdonságai az állományjellemzők voltak, mint például a ropogósság és lédúság.

Meullenet (1998) 21 különböző élelmiszer, köztük nyers, hámozatlan sárgarépa keménységét, kohéziós képességét, rugalmasságát és szívóosságát vizsgálta érzékszervi és műszeres vizsgálattal. Az érzékszervi vizsgálathoz képzett bírálókat kért fel, a műszeres vizsgálatot Instron berendezéssel végezte, és a Texture Profile Analysis tesztet alkalmazta. A kapott eredményeket összevetette egymással, és többek között megállapította, hogy az érzékszervi keménység és a műszeres keménység között volt a legszorosabb kapcsolat.

Varming és munkatársai (2004) hatfajta mosott, nyers sárgarépat vizsgáltak három hónapos tárolási időszak alatt. Nemzetközi standard szerinti érzékszervi vizsgálatot végeztek egy érzékszervi laboratóriumban, ahol a SO/DIS 8586-1 és ASTM STP 758 szabványok (1993) alapján kiválasztott és képzett bírálókkal dolgoztak. Kilenc leíró tulajdonság alapján kellett megvizsgálni a sárgarépaikat, ezek a következők voltak: répaillat, földillat, gyümölcsös íz, diós íz, édes íz, keserű íz, földíz, répa utóíz és keserű utóíz. ANOVA vizsgálatot végeztek, amely az illat, az íz és az utóíz nem volt szignifikáns az érzékszervi változókra. Az aldehidek és terpének mennyisége megnőtt a tárolás alatt.

Kreutzmann és munkatársai (2008) nyers sárgarépat bíráltak, míg Seljåsen társaival (2001) ötfajta sárgarépa érzékszervi tulajdonságait vizsgálta a betakarítás után tíz képzett bíráló segítségével. A betakarítást követő kezelések, mint például etilén-gazdag környezetben való tárolás gombásodást, penészedést okoznak, valamint a tárolási hőmérséklet és a páratartalom is hatással van a nyersanyag minőségére. Megállapították, hogy a betakarítás eredményezte stresszhatásnak

köszönhetően a sárgarépában nagyobb volt az izokumarin (nitrát tartalmú toxikus anyag) jelenléte, és ez összefüggésben állt a keserű ízzel, az alacsonyabb cukortartalommal valamint a terpénekkal.

Berger és munkatársai (2008) kétfajta sárgarépa eltérő körülmények között tárolása során bekövetkező érzékszervi változásokat vizsgálta. A betakarított sárgarépák felét hűtőházban tárolták, a másik felét -18°C-on vagy 25°C-on mélyhűtőszekrényben tárolták 12 hónapig. Ezt követően a minták 4°C-os, illetve 20°C-os környezetbe kerültek át 4, 7, és 14 napra. A tárolást követően a répákat megfőzték, és 29 leíró tulajdonsággal vizsgálták. Összehasonlítva a tárolási és feldolgozási tényezőket mutatták meg, milyen hatással vannak a feldolgozási folyamatok a sárgaréparra.

Araya és munkatársai (2009) nyers, vákuummal kezelt és főtt sárgarépák érzékszervi és minőségi tulajdonságait vizsgálták. Tíztagú képzett érzékszervi panel segítségével 19 mennyiségi különbséget írtak le az illatnak, megjelenésnek, állománynak, az aromának és az utóíznek.

Borowska és társai (2004) hőkezelt sárgarépák érzékszervi és fizikai tulajdonságainak vizsgálatát végezték. Az eredmények összefüggtek a kezelés módjával és a sárgarépa fajtájával. Az érzékszervi vizsgálat során tízfokozatú skálán értékelték az édes ízt, a keserű ízt, idegen ízt, az állomány leírását, mint pl. lédússág, keménység, rostosság. Ezen kívül még a sárgarépa jellemző tipikus illatot (penészes aroma), az egységes színt és a narancssárga szín intenzitását is nézték a gyökér keresztmetszetén.

A profilanalízis hosszú és bonyolult kiértékelési módszer, amely képzett bírálókat igényel. Azonban a könnyű és gyors érzékszervi bírálatok, mint például a rangsorteszt elfogadott elemzési módszer az élelmiszeriparban. Többek között alkalmazták már kenyerek íz- és aromavizsgálatára (Oda et al, 1997), tejdesszertek vizsgálatához (Tarrega és Costell, 2006; 2007), mandarinoknál (Del-Valle et al, 2009) és eperpüré vizsgálatára is (Almenar et al, 2009).

Az irodalmak áttekintése során megállapítottam, hogy az érzékszervi vizsgálat jól társítható különböző kémiai, és fizikai módszerekkel. Habár alapvetően szubjektív módszerről van szó, mégis nélkülözhetetlen a fogyasztói kíváncsalmak kielégítése szempontjából, a fentiek alapján ugyanis megállapítható, hogy a betakarítást követő kezelések, tárolás, tartósítás, egyéb kezelések az érzékszervi jellemzőkben észlelhető és nyomon követhető változásokat okozhatnak.

2.5. Szakirodalmi eredmények összefoglalása

A sárgarépa fontos élelmiszeripari nyersanyag, amely a téli tárolásnak köszönhetően akár egész évben elérhető vitamin- és tápanyagforrást nyújt. A háztartásokban a sárgarépa számára gyakran előnytelenebb tárolási körülmények biztosíthatóak, amelyek lerövidítik a termék élettartamát. Ez a zöldség egy többféle szövetből álló komplex rendszer, melynek keménysége a tárolás hatására bekövetkező tömeg- és nedvességvesztésnek köszönhetően változik. A kvázistatikus keménységmérési módszerek gyakran referenciaként szolgálnak egy-egy vizsgálat

során. A precíziós penetrométerek segítségével pontosabb eredményt kaphatunk az anyagok viselkedéséről.

A reológiai vizsgálatok egyik alkalmazott módszere a TPA (Texture Profile Analysis), melynek során a meghatározott paraméterek azonban nem minden esetben jellemzik jól a vizsgált anyagot (Csima et al, 2010). Mégis a módszert több kutató is alkalmazta a sárgarépa vizsgálata során. A rugalmasságot kúszás-kirugózás teszttel vizsgálva, további paraméterek meghatározásával, teljesebb képet kaphatunk a répa tárolás során bekövetkező fizikai változásokról (Bourne, 2002). A sárgarépa szöveti felépítésének köszönhetően a különböző szövet típusok alaposabb megismerését teszi lehetővé.

A kvázistatikus keménységmérés mellett fontos szerepük van a roncsolást nem okozó, dinamikus keménységmérő módszereknek. Az ütésvizsgálat a termény felületi keménységéről ad információt. Ez alapján lehetőség nyílik a sárgarépa szöveti felépítésének további vizsgálatára.

Az akusztikus keménységmérés roncsolásmentes mérést biztosít az érés, tárolás alatt bekövetkező változások figyelemmel kísérhetők. Felmerül a kérdés, hogy a hagyományos tárolás alatt lejátszódó intenzívebb változás során kimutatható-e egy olyan minőségi határérték, amelynél a termék még eladható?

A technika fejlődésével igény jelentkezett a keménység mellett a beltartalmi jellemzők meghatározására is a roncsolásmentes módszerek segítségével. Erre nyújt lehetőséget a NIR spektroszkópia. A nem megfelelő tárolási körülmények (magasabb hőmérséklet, alacsonyabb páratartalom) között tárolt sárgarépa túlzott nedvességvesztése lerövidíti a termény tárolhatósági idejét. A NIR technika a nedvességtartalom alakulásának nyomonkövetésére teremthet lehetőséget.

A zöldségek és gyümölcsök fizikai tulajdonságai mellett fontos szerepet kapnak az érzékszervi tulajdonságok, mint például az íz és/vagy illat, amelyek analitikai módszerekkel mérhetők. Azonban műszeres technikával, mint az elektronikus nyelv, átfogó tulajdonságokat mérhetünk. Az ízjellemzők vizsgálatával lehetőség van már különböző fajta levek összehasonlítására vagy gyümölcskezelési módok megkülönböztetésére is, beleértve bizonyos tárolási módokat. Azonban a hagyományos tárolás során a zöldségekben és gyümölcsökben végbemenő ízjellemző-változás nyomonkövetése is értékes információt nyújthat. Az elektronikus nyelv eredményeit gyakran párosítják érzékszervi bírálattal, amely nélkülözhetetlen a fogyasztói kíváncsi kielégítése céljából.

A fentiek alapján tehát szükségesnek tartom összefüggések megállapítását nem ideális feltételek mellett tárolt sárgarépa tömegvesztése, valamint mechanikai, optikai és ízjellemzői között.

3. CÉLKITŰZÉSEK

Doktori munkám alapvető célja, hogy összefüggéseket állapítsak meg nem ideális feltételek mellett tárolt sárgarépa tömegvesztesége, valamint mechanikai, optikai és ízjellemzői között. A cél megvalósítása érdekében a következő feladatok megoldása volt szükséges.

1. **Összefüggések meghatározása** mechanikai vágási, kompressziós kúszás-kirugózási teszt, optikai mérések és ízjellemzők vizsgálati eredményei, valamint a tömegveszteség között. Részletesebben:

Mechanikai vágási vizsgálatok:

- vágási erő/vágási deformáció viszony,
- dekompressziós munka/kompressziós munka viszony.

Kompressziós kúszás-kirugózás teszt:

- terhelőerő/kúszás előtti deformáció viszony,
- terhelőerő/maximális deformáció,
- elasztikus deformáció/maximális deformáció viszony,
- plasztikus deformáció/maximális deformáció viszony,
- plasztikus deformáció/elasztikusdeformáció viszony, valamint a tömegveszteség között.

2. **Összefüggések meghatározása** az optikai vizsgálatok, az abszorbancia és a színjellemzők, valamint a tömegveszteség között

3. **Összefüggések megállapítása** az érzékszervi – „jó illat”, „narancsszín-intenzitás”, „harapás és rágás”, „édes íz”, „keserű íz” és „összbenyomás” – jellemzők, valamint a tömegveszteség között

4. **Tömegveszteség becslése**

- Tömegveszteség becslése a mért és számított mechanikai jellemzők alapján
- Tömegveszteség becslése a mért és számított optikai jellemzők alapján
- Tömegveszteség becslése a mért és számított ízjellemzők alapján

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

4.1. Anyagok

4.1.1. Sárgarépa

A vizsgálataim során Nanti típusú, Nevis fajtájú sárgarépát vizsgáltam. Az előkísérleteket 2007-ben, majd a méréseket három egymást követő évben végeztem, 2008 és 2010 között a betakarítás után.

A sárgarépa minőségi osztályozása után az ép, sérülésmentes, egyenes répákat választottam ki a kísérletekhez. Az 2. táblázat tartalmazza a sárgarépa típusát, fajtáját, beszerzési helyét, betárolási tömeget, a termés hosszát, a legnagyobb átmérőt, és a kialakított csoportokon belüli mintaszámot.

2. táblázat A vizsgált sárgarépák beszerzési adatai, mértani tulajdonságai , és mintaszámok

	„EK1”	„EK2”	2008	2009	2010
fajtatípus	Nanti	Nanti	Nanti	Nanti	Nanti
fajta	Nevis	Nevis	Nevis	Nevis	Nevis
beszerzés helye	Felsőpakony	Szabadszállás	Ócsa	Ócsa	Felsőpakony
betárolási tömeg	100-130g	130-250g	290-340g	275-330g	190-300g
hossz	190-220mm	210-340mm	250-360mm	250-340mm	220-275mm
legnagyobb átmérő	27-32mm	30-40mm	30-50mm	30-50mm	35-45mm
hetenkénti mintaszám	4*	7**	12	12	9

* Előkísérlet, „EK1”: naponkénti mintaszám

** Előkísérlet, „EK2”: 4 sorozat párhuzamos mérése történt kétféle hőmérsékleten, és mindkét hőmérsékleten kétféle páratartalom mellett

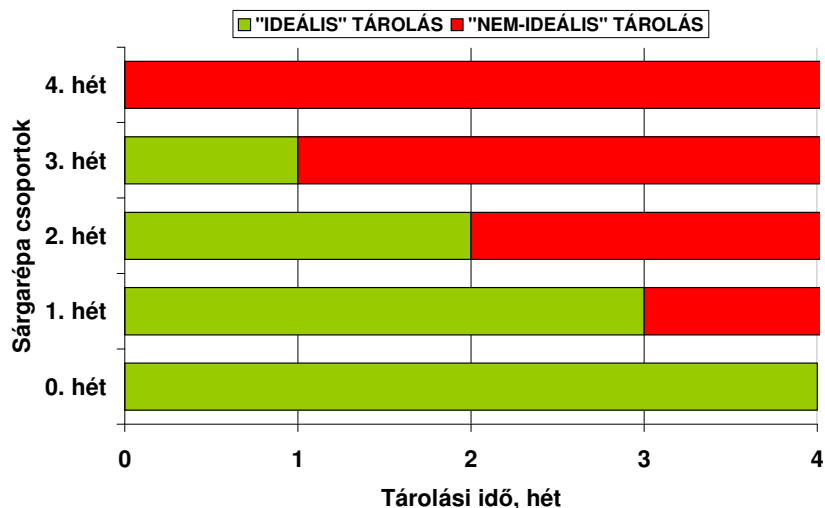
4.1.2. Tárolási körülmények

Az előkísérletek, valamint a kísérletek során választott nem ideális tárolási körülmények az irodalomban meghatározott optimális tárolási hőmérséklet és relatív páratartalom adatoktól eltérő értékeket jelentenek.

A betároláskor a sárgarépákat csoportosítottam. Az előkísérletek során az „EK1” és „EK2” sorozat mintáit, valamint 2008. és 2009. évi sárgarépákat „nem ideális” körülmények között tároltam, hűtőszekrényben. A hűtőszekrénytérben két helyen (középen és felül) ventilátor keverte a levegőt, az egyenletes levegőáramlás elérése céljából. A méréseket a betároláskor és azt követően hetente végeztem, a részletes leírásra majd az egyes módszereknél térek ki.

A 2010. évi sorozatot a betakarítás után közvetlenül téli, hosszú idejű („ideális”) tárolásnak megfelelő paraméterekre beállított környezetben, szintén hűtőszekrénybe helyeztem, az utolsónak

mérésre szánt csoportot pedig ezzel egyidőben egy rövid idejű („nem ideális”) tárolással azonos feltételeket biztosító hűtőszekrényben helyeztem el. A tárolási kísérlet során minden egyes héten egy újabb csoport került át a „nem ideális” környezetbe, azonban a kontrollcsoportok az egész kísérlet alatt az „ideális” környezetben maradtak. Ennek megfelelően a 4. heti minta 4 hétig, a 3. heti minta 3 heti, a 2. heti minta 2 hétig, az 1. heti minta 1 hétig volt tárolva „nem ideális” feltételek mellett. Az 6. ábra szemlélteti a tárolási időtartamokat.



6. ábra Az egyes sárgarépcsoportok tárolási időtartama „nem ideális” feltételek mellett

A tárolási körülmények a következők voltak:

- Előkísérlet (EK1):
 - Hőmérséklet: $8,0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$
 - Páratartalom: $86 \pm 1\%$
- Előkísérlet (EK2):
 - Hőmérséklet: $8,0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ és $15,0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$
 - Páratartalom mindkét hőmérsékleten: $87 \pm 1\%$ és $84 \pm 1\%$
- Kísérlet (2008, 2009):
 - Hőmérséklet: $8,0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$
 - Páratartalom: $84 \pm 2\%$
- Kísérlet (2010):
 - „Ideális” tárolás:
 - Hőmérséklet: $2,0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$
 - Páratartalom: $96 \pm 2\%$
 - „Nem ideális” tárolás:
 - Hőmérséklet: $8,0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$
 - Páratartalom: $84 \pm 2\%$

A sárgarépa mérési módszereinek összesítését a 3. táblázat tartalmazza. A táblázatban megtalálhatóak az egyes mérési sorozatoknál alkalmazott módszerek.

3. táblázat A kísérletek során alkalmazott módszerek

	„EK1”	„EK2”	2008	2009	2010
Légzésintenzitás mérése	+	-	-	-	-
Tömegmérés	+	+	+	+	+
Nedvességtartalom mérése	+	+	+	+	+
Vágás	-	+	+	+	+
Akusztikus módszer	-	+	+	+	+
Kúszás-kirugózás teszt	-	-	-	-	+
Ütésvizsgálat (impact)	-	+	+	+	+
NIR	-	-	+	+	-
Színmérés	-	-	+	+	+
Elektronikus nyelv	-	+	+	+	+
Érzékszervi bírálat	-	-	-	-	+

4.2. Légzésintenzitás mérése

A vizsgálatokat az Élelmiszertudományi Kar Hűtő és Állattermék Technológiai Tanszékén, zárt rendszerű, nagy érzékenységű (0-9999 ppm) infravörös CO₂-érzékelőkkel (ALMEMO 3290, Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH, Németország) ellátott respirométerrel végeztem. A méréseket változó időközönként, általában kétnaponta végeztem, azonban az első héten a folyamatok pontosabb nyomon követése céljából naponta gyűjtöttem az adatokat. Az eljárás során a légzésintenzitást a zárt mérőedénybe helyezett, ismert tömegű sárgarépa környezetében lévő gáztér CO₂-tartalmának időegységre eső változásából számítottam. Az 7. ábrán a mérési összeállítás látható.



7. ábra Mérőkör kertészeti termékek légzésintenzitásának meghatározására zárt rendszerű respirométerrel

A légzés mértékét a légzésintenzitás (Li – légzésintenzitás, m.e.: ml CO₂/(kg·h)) értékével határoztam meg, amely megmutatja, hogy adott hőmérsékleten 1 kg termék légzése során, egységnyi idő alatt mekkora mennyiségű CO₂ keletkezik.

$$Li = \frac{V_{sz} \cdot \Delta CO_{2(t_2-t_1)} \cdot 10^{-6}}{m \cdot (t_2 - t_1)} \quad (1)$$

ahol: V_{sz} – mintatartó edény szabad térfogata, ml

$\Delta CO_{2(t_2-t_1)}$ – CO₂ koncentráció változása a két mérési időpont között, ppm

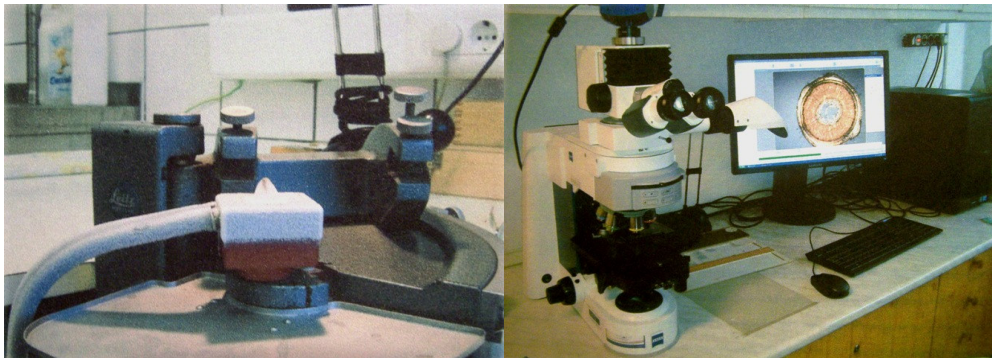
m – sárgarépa tömege, kg

t_1 és t_2 – mérési időpontok ($\Delta t = t_2 - t_1 = 0,1667h$)

A légzésintenzitás-mérőkör fő része az ALMEMO 3290 nevű CO₂ gázelemző- és adatgyűjtő egység, mely ppm-ben jelzi a vizsgált légtér CO₂-koncentrációját. A tárolótérből kikerülő ismert tömegű sárgarépa mintákat 8°C-on tároltam és a mérés is 8°C-on történt. Az eredményeket ml/kg·h mértékegységben adtam meg.

A mérési paraméterek (mérési időköz- és időtartam, stb) beállítására a mért adatok megjelenítésére és előzetes feldolgozására az AMR WinControl ver 4.1 (akrobit® Software GmbH., Németország) adatgyűjtő és megjelenítő szoftvert használtam. Az érzékelők a CO₂-koncentrációtól függő infravörös sugárzáselnyelés alapján működnek. A mért CO₂-koncentrációadatok időbeli változását ábrázolva az adatsor meredeksége információt hordoz a minta légzésintenzitásáról.

A sárgarépaszöveteket a Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Karának, Növényteni Tanszékén vizsgáltam. A vizsgálathoz szükséges metszetek Leitz típusú fagyasztó mikrotómmal készültek, majd ezt követően a tárgylemezre került preparátumok tartósítása glicerinnel és víz 1:1 arányú keverékével történt. A felvételek Zeiss Axio Imager.A2 típusú mikroszkóppal és Axio Cam HRc, Zeiss kamerával készültek, ahol az objektív 10x nagyítást, míg a mikroszkóp 2,5x, 5x, 10x, 20x, 40x nagyításokat tett lehetővé, ez a valóságban így 25x, 50x, 100x, 200x, 400x nagyításnak felelhet meg. A 8. ábrán a vizsgálat során alkalmazott műszerek láthatóak.



a)

b)

8. ábra Metszetkészítés eszközei a) Leitz típusú fagyasztó mikrotóm, b) Zeiss Axio Imager.A2 mikroszkóp, rászerezelt Axio Cam HRc kamerával

4.3. Sárgarépa mérése kvázistatikus és dinamikus keménységvizsgálati módszerekkel

A méréseim során a tömeget és a nedvességtartalmat minden mérési napon meghatároztam. Tömegméréshez Voltcraft TS-500 típusú, 0-500g mérési tartományú, 0,1g pontosságú mérleget használtam, a nedvességtartalom meghatározást Venticell Comfort Line szárítószekrényben (MMM Medcenter Einrichtungen GmbH, Németország) végeztem, az alábbi beállításokkal: 105°C hőmérséklet, 100%-os levegőáramlás, 24 h időtartam (Aghbashlo et al, 2011). A nedvességtartalmat nedvesbázisra és szárazbázisra is meghatároztam az alábbi képletek segítségével, melyekből nedvességveszteséget számoltam:

$$\text{nedvességtartalom nedvesbázisra: } w_N = \frac{m_{SZE} - m_{SZU}}{m_{SZE}} \quad (2)$$

$$\text{nedvességtartalom szárazbázisra: } w_{SZ} = \frac{m_{SZE} - m_{SZU}}{m_{SZU}} \quad (3)$$

ahol: m_{SZE} – sárgarépa szárítás előtti tömege, g

m_{SZU} – sárgarépa szárítás utáni tömege, g

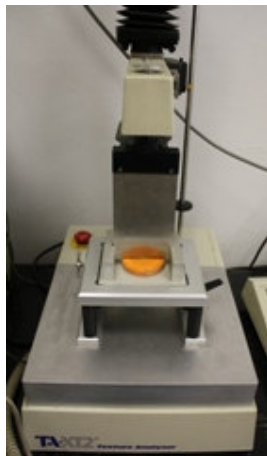
Az előkísérletek (EK) során kvázistatikus állományvizsgálati módszerként az SMS precíziós penetrométerrel történő vágást, valamint dinamikus keménységvizsgálati módszerként az akusztikus keménységvizsgálatot és ütészvizsgálatot alkalmaztam a minták elemzéséhez. Ezt követően kezdtem meg a kísérleteket, ahol kiegészítettem a módszereket a továbbiakkal: kúszás-kirugózás teszttel, optikai mérésekkel (VIS, NIR) és ízjellemzők mérésével. A méréseket az egyes csoportokon heti gyakorisággal végeztem.

4.3.1. Vágási vizsgálat

A hagyományos keménységmérési módszerek elvégzésére a Stable Micro System TA-XT2 típusú asztali precíziós penetrométert alkalmaztam. A precíziós penetrométer segítségével reológiai tulajdonságok vizsgálatára nyílik lehetőségünk. A készülékhez számos mérőfej és alkatrész tartozik, melyek segítségével az élelmiszerek széles skáláját vizsgálhatjuk. A műszerrel kétféle mérést végeztem: vágást és kúszás-kirugózás tesztet. A méréseket heti gyakorisággal végeztem.

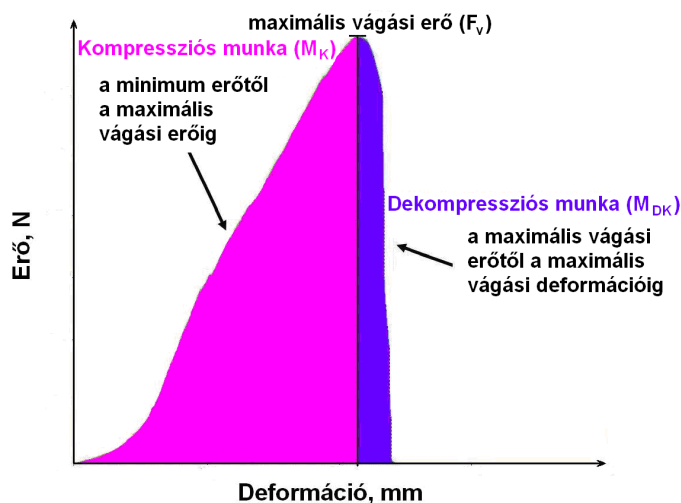
Vágás során a kés/guillotine pengefejet használtam, mellyel sárgarépa korongokat vágtam el az átmérő mentén. Azért választottam ezt a módszert, mert az étkezés során a feldolgozott sárgarépát nagyon gyakran korongra vágják, és így a harapáskor a száliránnyal párhuzamosan történik a terményre az erő kifejtés. A mérőfej 3 mm vastagságú alumíniumlap volt, alján 45°-ban kialakított éllel. A korongokat a sárgarépa felső 1/3-ából vágtam ki, a szeletek vastagsága 5 mm volt. A mérés során a maximális deformáció értékét 8 mm-re állítottam be, ezzel biztosítva, hogy a tárolás során egyre jobban puhuló répát is el tudjam vágni. A méréseket a hűtőszekrényből kivett, és

szobahőmérsékletűre felmelegedett mintákon végeztem. Hetente 1-1 csoportot vizsgáltam a tárolási kísérletek során. Minden mintából 3-3 mérést végeztem, a mérések során ellenőriztem az 5 mm-es szeletvastagságot és a vágási átmérő értékét, csökkentve ezzel a minták közötti szórás lehetőségét. A készülék a 9. ábrán látható.



9. ábra SMS TA-XT2 precíziós penetrométer a kés/guillotine mérőfejjel

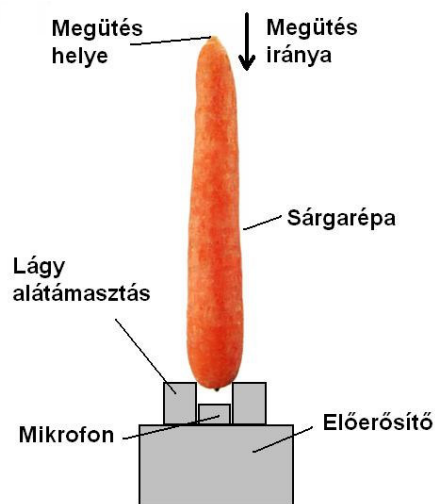
A tesztek során meghatároztam a maximális vágási erőt, valamint a hozzá tartozó vágási deformáció értékét. Ezekből számoltam a vágási erő és vágási deformáció viszonyát (F_v/D_v). Ezután meghatároztam a dekompressziós munka és a kompressziós munka hányadosát (M_{DK}/M_K), amelyet a vágási deformációtól a maximális deformációig tartó görbeszakasz alatti terület (M_K) és a zérus deformációtól a vágási deformációig tartó görbeszakasz alatti terület (M_{DK}) hányadosából számoltam ki (10. ábra).



10. ábra Erő-deformáció görbe a dekompressziós munka és kompressziós munka hányados magyarázatához

4.3.2. Akusztikus keménységvizsgálat

Az akusztikus keménységmérés során a minták globális keménységét határoztam meg. A méréseket heti gyakorisággal végeztem, a mintánként mért 1-1 adatot használtam fel az értékelés során. A 11. ábrán az akusztikus mérőműszer felépítése látható. Az elrendezés előerősítőtől, mikrofonból és lágy, rugalmas habszivacs alátámasztásból áll.



11. ábra Az akusztikus mérés elrendezése

Az ilyen elrendezés lehetővé teszi a termény szabad rezgését és a szivacs által határolt térben a kellő érzékenység eléréséhez megfelelő hangnyomás alakul ki (Felföldi, 1996a, 1996b). A mintákat mindig a mikrofonra merőlegesen, a répa csúcsán ütöttem meg egy pálcával, így rezgésbe hoztam, az ütésre adott hangválaszt pedig a termény átelles oldalán a mikrofonnal rögzítettem. A kapott hangválasz a mikrofon és egy hangkártya segítségével számítógépbe vezethető, a terményre jellemző frekvenciát pedig a „Stiffness” nevű program határozza meg, amely szintén a Budapesti Corvinus Egyetem Élelmiszertudományi Karának Fizika-Automatika Tanszékén készült. A program a rögzített hangválaszból meghatározza és grafikusan megjeleníti az adatsor Fast Fourier Traszfomáltját, és a kiválasztott frekvenciasávban automatikusan megkeresi a hangválasz jellemző frekvenciáját.

Az akusztikus keménységtényező meghatározásához (jele: S , m.e.: m^2s^{-2}) a hosszúkás termények akusztikus keménységének mérésére javasolt összefüggést alkalmaztam (Zsom-Muha and Felföldi, 2007):

$$S = f^2 \cdot l^2 \quad (4)$$

ahol: f – a termény jellemző rezonancia frekvenciája, Hz

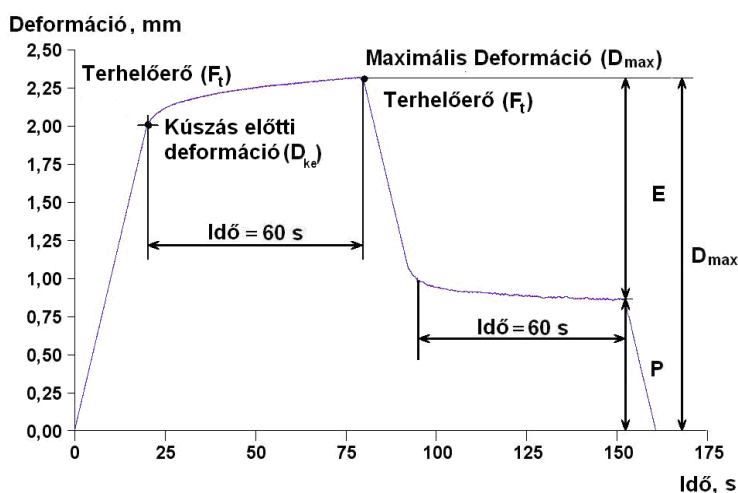
l – a termény hossza, m.

4.3.3. Módszerek a sárgarépa szövetszerkezetének vizsgálatára

4.3.3.1. Kúszás-kirugózás vizsgálata

A kúszás-kirugózás teszthez szintén az SMS TA-XT2 típusú asztali precíziós penetrométert alkalmaztam. A méréseket heti gyakorisággal végeztem, melyek során a sárgarépákból egy pengercs segítségével 9x9x9 mm élhosszúságú kockákat vágtam ki a sárgarépa farészéből (xylem) és háncsrészéből (phloem). A kockákat 75 mm átmérőjű alumíniumlappal terheltem.

A mérés során beállított paraméterek a következők voltak: 60 N terhelőerő, 60 s kúszási idő, 0,1 mm/s mérőfej sebesség. Hentente 1-1 csoportot vizsgáltam a tárolási kísérletek során. Minden mintából 2-2 mérést végeztem, a mérések során ellenőriztem a kivágott kockák méreteit. A kísérlet elején próbamérést végeztem, hogy megállapítsam, milyen irányú terhelés a legmegfelelőbb. Ezért a kivágott répakockák fa- és háncsrészét száliránnyal párhuzamosan és arra merőlegesen is megmértem. A későbbiekben már csak a száliránnyal párhuzamos terhelést vizsgáltam, mert a korongvágással azonos irányú terheléssel akartam vizsgálni a mintákat, hiszen – amint fentebb írtam – a sárgarépa is sokszor korongokra vágva kerül felhasználásra. A kúszás-kirugózás teszt deformáció/idő görbéje a 12. ábrán látható.

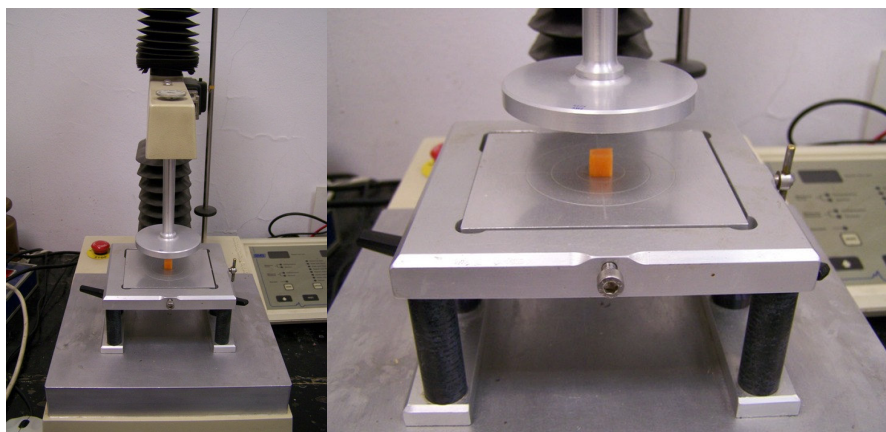


12. ábra A kúszás-kirugózás teszt deformáció-idő diagramja

A kúszás-kirugózás teszt során az alábbi paramétereket határoztam meg:

- Terhelőerő és kúszás előtti deformáció viszonya (F_t/D_{ke}), a kúszási szakasz kezdőpontjában
- Terhelőerő és maximális deformáció viszonya (F_t/D_{max}) a kúszás végpontjában
- Elasztikus deformáció és maximális deformáció viszonya (E/D_{max})
- Plasztikus deformáció és maximális deformáció viszonya (P/D_{max})
- Plasztikus deformáció és elasztikus deformáció viszonya (P/E).

A kúszás-kirugózás teszt mérési elrendezése a 13. ábrán látható.

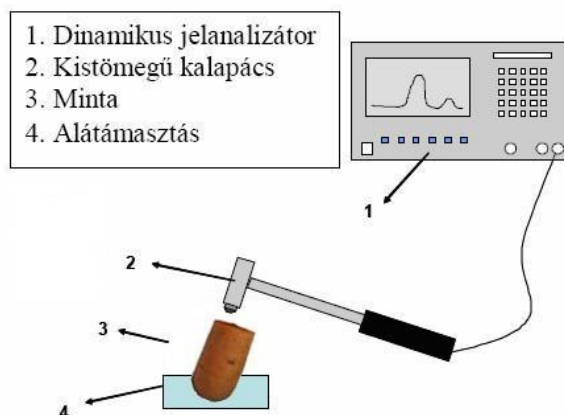


13. ábra SMS TA-XT2 precíziós penetrométer a 75 mm-es alumíniumlap fejjel

4.3.3.2. Ütésvizsgálati (impact) módszer

Az ütésvizsgálati módszerrel roncsolásmentesen felületi keménységet határozhatunk meg. Ezért választottam ezt a módszert, mert ennek segítségével a sárgarépa fa- és hancsrészét is vizsgálhattam. A méréseket heti gyakorisággal végeztem.

Az ütésvizsgálati módszer során piezo-elektromos elven működő gyorsulásérzékelővel ellátott ütésvizsgáló kalapácsot (félgömb alakú fémfejjel), egy jelátalakító elektronikus egységet és egy HP 35670A típusú dinamikus jelanalizátort tartalmazó mérési elrendezést alkalmaztam. A műszer vázlatos felépítését a 14. ábra szemlélteti.



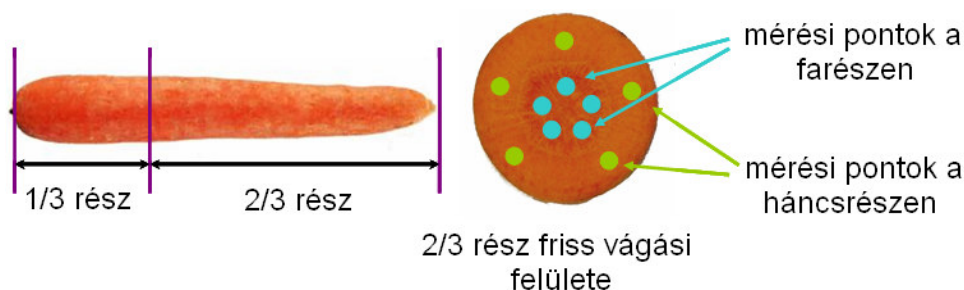
14. ábra Az ütésvizsgálati módszer mérési elrendezése

Az erőérzékelő feszültségjele a jelátalakítón keresztül számítógépre vihető, és ott egy speciális program segítségével elemezhető. A mérések során használt „Impact” nevű programot a Budapesti Corvinus Egyetem Élelmiszertudományi Karának Fizika-Automatika Tanszékén fejlesztették ki. A program az erőérzékelő jele alapján menti a görbe kezdeti és maximum pontja közötti időtartam nagyságát. A felületi keménység jellemzésére a szinuszgörbe első hullámának kezdő és maximum pontja közötti időkülönbségből (Felföldi és Fekete, 2000) meghatároztam az ütésvizsgálati keménységtényezőt (D, ms^{-2}):

$$D = \frac{1}{\Delta T^2} \quad (5)$$

ahol ΔT – a szinusz görbe kezdő és maximum pontja közötti időkülönbség, ms

A méréseket hetente végeztem, melyek során a sárgarépa szárához viszonyítva a gyökér 1/3-2/3 részénél történő keresztbevágás után a friss vágási felületen, a sárgarépa két fő szövettípusának, a farésznek és a hancsrésznek határoztam meg az ütésvizsgálati keménység tényezőjét (15. ábra).



15. ábra Az ütésvizsgálati mérési pontjai a sárgarépa farészén és hancsrészén

Ehhez a minták farészét és hancsrészét 5-5 ponton vizsgáltam, melyeknek az átlagát vettem eredményként.

4.4. Optikai mérési módszerek

4.4.1. Közeli infravörös spektroszkópia (NIR) alkalmazása

Az élelmiszeripar számára fontos anyagok a Spectralyzerrel (16. ábra) mérhető tartományban rendelkeznek elnyelési (abszorpció) maximummal.

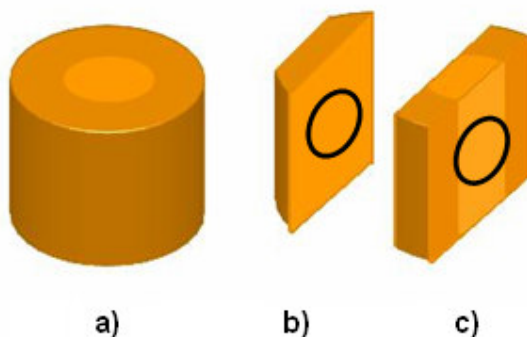


16. ábra A PMC Spectralyzer 10-25 infravörös spektrométer

A műszer 1000–2500 nm között a közeli infravörös tartományban mér 2 nm-enkénti felbontásban. Megvilágítási és megfigyelési geometriája 0/45°. Egy holografikus rácsot tartalmaz,

amely színszűrővel két tartományban (1000–1600 nm és 1600–2500 nm) mér. Érzékenysége a nagyobb hullámhosszokon gyengül.

A méréseket heti gyakorisággal végeztem a többi módszerrel együtt. A mérések előtt szükséges a megfelelő mintaelőkészítés. Ehhez a sárgarépából 2 cm vastag korongokat vágtam, és a farészből és a háncsrészből is 5 mm vastag metszetet készítettem (17. ábra). A mért felület egy 25 mm átmérőjű, a 17. ábrán látható bekarikázott felület volt. A minta előkészítését követően a műszer kalibrálása szükséges a gyári etalonnal Végül a korong elmetéséből kapott felületek abszorbanciáját mértem. A kapott adatokat számítógéppel dolgoztam fel.



17. ábra Mintaelőkészítés NIR méréshez a) egész korong, b) háncsrész minta, c) farész minta

4.4.2. Szín mérése

A ColorLite sph850 típusú spektrofotométerrel különböző színmérő rendszerek paraméterei mérhetők a látható fény tartományban (VIS) 400-700 nm között (18. ábra). A műszer egyaránt alkalmas szilárd anyagok, folyadékok és porok mérésére. A mérés során a mintát az érzékelő mérési felületére merőlegesen helyezzük el, míg a minta megvilágítása 45°-os szögben fénydiódákkal történik. A kísérletek során fehér etalonnal történő kalibrálást követően a sárgarépa fa- és háncsrészének friss vágási felületén mértem a CIE $L^*a^*b^*$ színjellemzőket. A műszeren beállítható a mérések ismétlésszámának gyakorisága, amelyből a műszer számol átlagot, és generálja a végső értéket. A méréseket heti gyakorisággal végeztem, minden alkalommal az impakt méréshez, a szártól számított 1/3-2/3 arányban kettévágott sárgarépa friss vágási felületén mértem a farész és háncsrész színét. A felületen háromszor ismételt meg a mérést, majd az így kapott értékeket átlagoltam, végül mintánként és szövettípusonként 1-1 adatot kaptam.

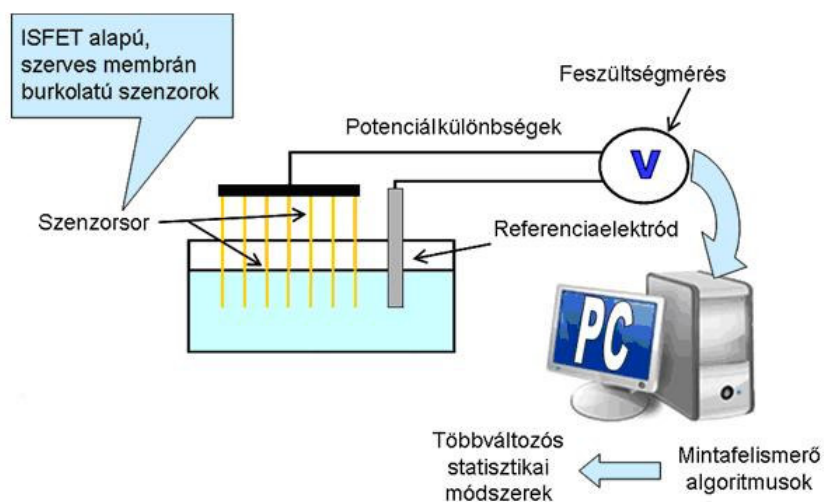


18. ábra A ColorLite sph850 színmérő ábrája (www.vitaliskft.com)

4.5. Ízvizsgálati módszerek

4.5.1. Elektronikus nyelv

A sárgarépa-íz jellemzőinek mérése az Alpha M.O.S. francia cég (Toulouse, France) Alpha Astree típusú folyadék- és ízelemző készülékével történt (19. ábra).



19. ábra Az Alpha Astree potenciometrikus elektronikus nyelv vázlatos ábrája (Kovács et al, 2009a)

A készülék 16 pozíciós mintavevőből, a műszerhez tartozó gyári szoftverből és hét darab szenzorból álló, folyadék halmazállapotú élelmiszerek elemzésére specializált, ISFET alapú szenzorsorból és egy Ag/AgCl-referenciaelektrodból (Methrom) áll. A szenzorok felszínét szenzoronként különböző szerves membránburkolat fedi. Így minden egyes szenzor érzékeny a folyadékban oldott kémiai komponensekre, de eltérő érzékenységgel.

A készülék a potenciálkülönbség mérése elvén működik. A szenzorsor és a referenciaelektrod egyszerre merül a vizsgálni kívánt folyadék mintába, majd a közöttük lévő potenciálkülönbséget mérve analóg/digitális (A/D) konverterrel továbbíthatóak az adatok a számítógépre, amelyen a kiértékelő statisztikai programok segítségével kiértékelhetők az eredmények.

A levek méréséhez a mintákból gyümölcscentrifuga segítségével (Philips Juicer HR 1851) répalevet készítettem. A mérések az egyes sorozatoknál a tárolási kísérletek végén, fagyasztott mintákból történtek, a 100%-os minták lefagyasztása és a mérésig a tárolás -18°C -on történt. A léből a mérésekhez szűrés után 5%-os oldatot készítettem desztillált vízzel. A méréseket megelőzően szükséges előkondicionálás, amelyet 0,01M sósavoldattal (a gyártó előírása) végeztem. Ennek célja a szenzorok felszínének tisztítása és egyensúlyi helyzetbe hozása. Az előkondicionálást követően hozzá kell szoktatni a szenzorokat a mérendő mintához, ehhez a minták azonos arányú keverékével végeztem kondicionálást. Ezután ugyanerre a mintára történt a kalibráció, amely során a szenzorokat egy előre definiált célértékre állítjuk be, ezzel biztosítva, hogy a mérés során a mérési tartományon belül maradjanak a szenzorjelek. Végül maga a mérés történik, ehhez be lehet állítani a mérési ismétlések számát, a mintavételezést, a tisztítás időtartamát, a keverőelem fordulatszámát. A mérési ismétlések száma 7 volt az egyes tárolási kísérleteknél. Ezekből a statisztikai értékelés során választottam ki a legjobbakat. A hetente készített, majd lefagyasztott minták együttes mérése az egyes mérési sorozatok végén történt. A méréshez minden heti mintából a feolvasztás után 100-100ml mennyiségű, 5%-os oldattal, valamint a szenzorok tisztításához egy desztillált vízzel teli mintatartó edény került a készülékbe.

4.5.2. Érzékszervi bírálat

Az érzékszervi minősítés során az volt a kérdés, hogy az érzékszervi tulajdonságok alapján felállítható-e tárolási idő szerinti szignifikáns mintasorrend. Az érzékszervi minősítést 16 betanított bíráló részvételével végeztem. A rangsorteszt során vizsgált érzékszervi jellemzők a következők voltak: jó illat, narancsszín-intenzitás, harapás és rágás, édes íz, keserű íz, összbenyomás. A kiértékelést Page-teszt segítségével végeztem, mely megmutatta, hogy a bírálók által felállított érzékszervi rangsor milyen összefüggésben van a tárolási idővel. Az érzékszervi bírálat során minden bíráló egy-egy tálcán, kóddal ellátva kapott minden hétből egy-egy mintát, összesen 5 db, 4 cm hosszú, a sárgarépa középső harmadából kivágott hengert.

4.6. Értékelési módszerek

A vizsgálataim során a mért adatok feldolgozását az alábbiak szerint végeztem:

- Az adatokat Microsoft Excel 2003 szoftverben gyűjtöttem össze, és adatredukciót végeztem az átlag és szórás alapján. A NIR eredményeknél relatív változást is néztem. Az adatok szelekciója után a meglévő adatokból készítettem diagramokat az egyes paraméterek közötti kapcsolat megállapítása céljából.
- A lineáris és exponenciális függvénykapcsolat becslését szintén az Excelben, a Solver bővítmény segítségével végeztem, Durbin–Watson (DW) statisztika, determinációs

együttható (R^2), becslési hiba (RMSE), Akaike információs kritérium (AIC) és becslési szórás (ratio of predictive deviation) (RPD) összehasonlításával választottam ki a megfelelő illesztést. A DW statisztika alkalmazásával a mért pontok autokorrelációját vizsgálhatjuk. A DW-érték megfelelőségét táblázat segítségével lehet kiválasztani, amit a mintaszám, a független változók száma, az elsőfajú hiba valószínűsége, valamint a Durbin–Watson statisztika kritikus értékei határoznak meg.

Akaike 1978-ben a mintában meglévő információ felhasználásának maximalizálását tűzte ki célul; ennek mutatója az AIC-érték. A paraméterek számának növekedésével nő a modell magyarázó ereje, az AIC-érték segítségével kiválaszthatjuk a legkevesebb paraméter felhasználása mellett legnagyobb magyarázó erejű modellt. Ennek oka, hogy a mutató előnyben részesíti a jó illeszkedésű, ugyanakkor bünteti a nagyszámú változót tartalmazó modelleket. A cél, hogy az AIC értéke minél kisebb legyen (Akaike, 1978; Latif et al, 2008; Domán, 2005; Sakamoto et al, 1986). Az RPD szám a szórás (SD) és a becslési hiba (RMSE) hányadosa. Chang et al (2001) minőségi értelmezése szerint ha $RPD < 1,5$, akkor elégtelen a modell az alkalmazásra, $1,5 < RPD < 2$ esetén hasznos információt nyújt a modell pontosságáról, és amennyiben $RPD > 2$, akkor a modell jól alkalmazható.

- A hagyományos keménységvizsgálati mérésekhez az SMS TA-XT2 precíziós penetrométer TEXTURE EXPERT for Windows ver. 1.17 (1997) nevű programját használtam, amely a mérések alatt rögzítette az erő-, deformáció-, időadatokat és elkészítette az erő/deformáció- és deformáció/idő-görbéket. Az általam írt makrók segítségével ugyanezzel a szoftverrel választottam ki az alkalmazott paraméterekhez szükséges F_v , D_v , M_{DK} , M_K , F_t , D_{ke} , D_{max} , E és P értékeket.
- A mérési csoportok közötti szignifikáns különbség meghatározásához és error bar diagramok készítéséhez az SPSS 15.0 (SPSS, 2006) szoftvert használtam, minden esetben 95%-os megbízhatósági szintet véve figyelembe. Ugyanezen programmal a lineáris kapcsolatra a DW hipotézisvizsgálatot is elvégeztem. A statisztikai módszerek közül főkomponens-elemzést (PCA – Principal Component Analysis), majd lineáris diszkriminanciaanalízist (DA – Discriminant Analysis) végül parciális legkisebb négyzetek regressziót (PLS – Partial Least Square Regression), valamint klaszteranalízist (CA) használtam.
- A PCA-t Statistica ver. 8.1. (StatSoft, 2007) szoftvert használtam, faktorelemzés modult alkalmazva. Ekkor olyan közös tényező(k) megkeresése a cél, amely a vizsgált változók többségére hat. A közös tényező(k) – ún. hipotetikus változók – jelenlétére a vizsgált változókval való függőségéből következtethetünk. Általában egy közös tényezőbe több vizsgált változót lehet összevonni, olyan változókat, amelyek együttesen fejtenek ki hatást

valamelyik változóra. A közös tényezők – ún. faktorok – száma mindig kevesebb, mint a vizsgált változók száma, de a komponenselemzésben a faktorok száma megegyezik a változók számával (Felleg, 2004).

A DA során használt modellek validációját háromszoros keresztvalidációval végeztem (Berrureta et al, 2007), úgy, hogy minden eset szerepeljen legalább egyszer a modell építésében és validálásában is. A lineáris DA teszteket Statistica ver. 8.1. (StatSoft, 2007) szoftverben végeztem az általános diszkriminancia elemzés (General Discriminant Analysis) modult alkalmazva. A DA végrehajtásakor előre definiált csoportok vizsgálata történik. Az eljárás kiválasztja a vizsgálatba bevont változók közül azokat, amelyek értéke (lineáris kombinációja) leginkább jelentős a csoportok szétválasztása nézőpontjából. Meghatározható vele, hogy a csoportok különbsége mennyire függ az egyes tulajdonságoktól (az egyes tulajdonságok egymáshoz viszonyítva mennyire jelentősek a csoportok szétválasztása szempontjából) (Vizdák, 2004). A PCA és DA elemzést a fizikai, optikai és ízparaméterek vizsgálatára egyaránt alkalmaztam.

A PLS regressziót használtam a tömegveszteség becslésére, valamint az érzékszervi vizsgálatok során az érzékszervi tulajdonságok becslésére az egyes keménységmérési paraméterekből és az elektronikus nyelv szenzorjeleiből. A PLS modellek validálásához ún. leave-one-out (LOO) keresztvalidációt használtam (Berrueta et al, 2007). Az eljárás lényege, hogy minden értéket egyszer hagynak ki, és a modellt a maradék alapján építik fel. A PLS elemzéseket Unscrambler ver. 9.1. (CAMO, 2004) szoftverben végeztem.

- Az érzékszervi vizsgálatok során a bírálók kiválasztására klaszteranalízist (CA) használtam a Statistica ver. 8.1 (Statsoft, 2007) szoftver segítségével. A CA tetszőleges objektumok különböző osztályokba – csoportokba – sorolását lehetővé tevő módszer. Célja egy n elemű (ebben az esetben a betanított érzékszervi bírálóknak a bírálat során adott pontszámaiból képzett) halmaz részhalmazokra történő felbontása, amelyek közös elemmel nem rendelkeznek, de egyesítésük a teljes halmazzal egyenlő, azaz minden objektum besorolásra kerül valamelyik csoportba. Fontos, hogy minél nagyobb legyen az egyes csoportokon belüli objektumok hasonlósága, ami a távolságok minimalizálásával érhető el. Lényeges, hogy az egyes csoportok elkülönülése a lehető legnagyobb legyen, ez pedig a csoportok közötti távolságok maximalizálásával érhető el (Szelényi, 2004).
- Az érzékszervi vizsgálatok során a tulajdonságok alapján történő tárolási időnek megfelelő sorrend felállításának ellenőrzésére Page-tesztet (Page, 1963) alkalmaztam 99%-os szignifikanciaszint mellett. A Page-teszt lényege, hogy a minták valamilyen mérhető tulajdonságuk alapján előre ismert rangsorban helyezkednek el. Ez nálam a tárolási heteket jelentette. A feladat az volt, hogy a bírálók állítsák rangsorba a mintákat az adott érzékszervi

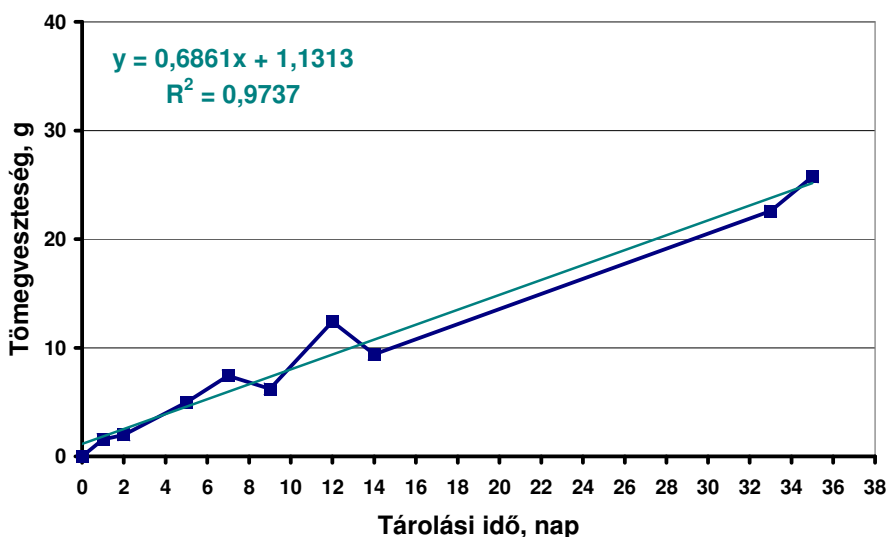
tulajdonságok intenzitása szerint. A legkisebb pontszámot a legjobb minta, míg a legnagyobbat a legrosszabb kapja. A Page-próba értéke a hetenként adott rangszám összegekből számítható ki. Ezt a számított értéket össze kell vetni a táblázatban szereplő kritikus értékkel. Ha a számított érték nagyobb a kritikus értéknél vagy egyenlő vele, akkor az adott szignifikancia szinten a bírálók által felállított rangsor összhangban van a minták eredetileg feltételezett rangsorával, vagyis nem különbözik szignifikánsan.

5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS

5.1. Előkísérletek a légzésintenzitás, a tömeg- és nedvességveszteség, valamint a tárolási idő összefüggésének meghatározására

5.1.1. Sárgarépa légzésintenzitásának és szöveti felépítésének meghatározása

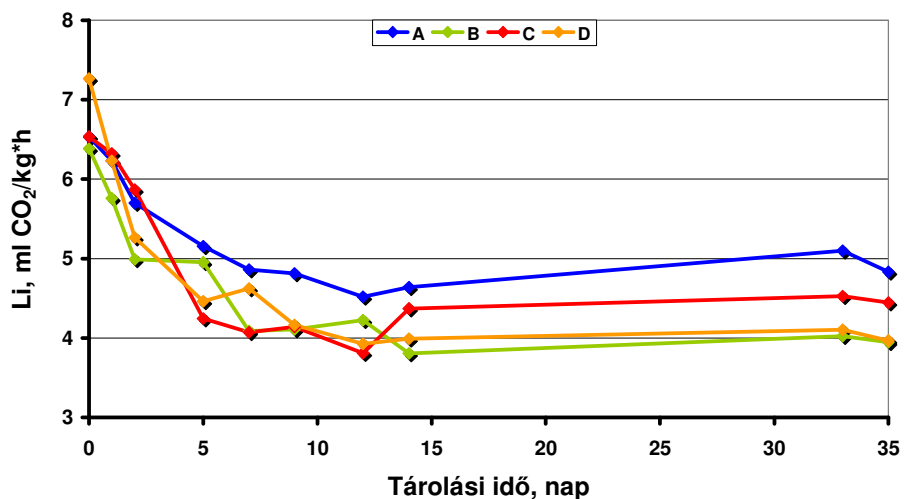
A kísérlethez $8,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$ -on, $86 \pm 2\%$ -os páratartalom mellett négy, párhuzamosan tárolt sárgarépacsoportot („EK1”) mértem. Vizsgáltam a tömeg és a nedvességtartalom alakulását és meghatároztam a kiindulási állapothoz viszonyított tömegveszteséget grammban kifejezve (20. ábra).



20. ábra A tömegveszteség alakulása a tárolási idő függvényében („EK1” sorozat)

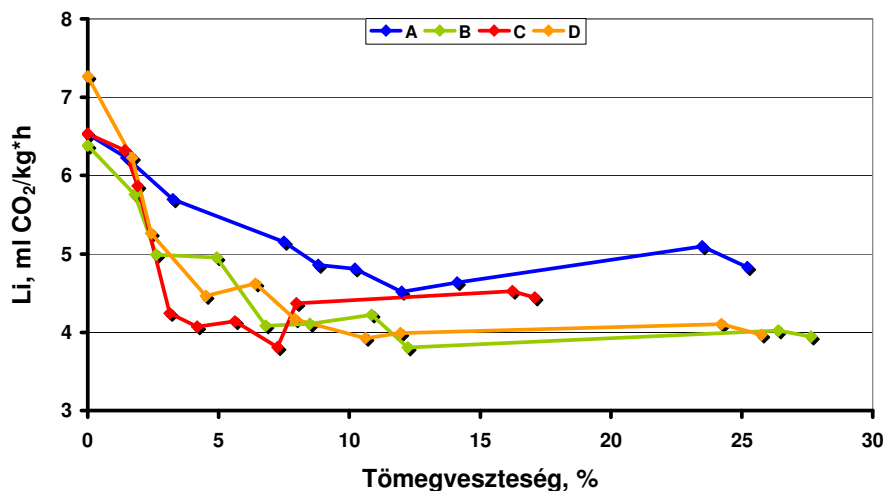
Megállapítottam, hogy a tárolási idő alatt bekövetkező tömegveszteség változása szoros korrelációval írható le egy lineáris modellel. Mivel a napi minták kiindulási nedvességtartalma nem ismert, nem számítható ki a távozó nedvesség pontos mennyisége. Ráadásul a sárgarépa tárolása során O_2 felvétel mellett a cukor lebomlásakor nemcsak CO_2 , hanem víz is keletkezik, ami a sárgarépa nedvességvesztését befolyásolja. A tömegveszteség egy olyan paraméter, amely magába foglalja a nedvességvesztést is és könnyen figyelemmel kísérhető.

Meghatároztam a sárgarépa légzésintenzitás-értékét nem ideális tárolás során az idő függvényében négy, párhuzamosan mért (A, B, C, D) mintacsoportra (21. ábra). Az ábrából kitűnik, hogy a légzésintenzitás értéke a tárolás kezdetén erőteljesen csökkent, majd az idő múlásával megközelítőleg állandósult.



21. ábra Légzésintenzitás a tárolási idő függvényében („EK1” sorozat)

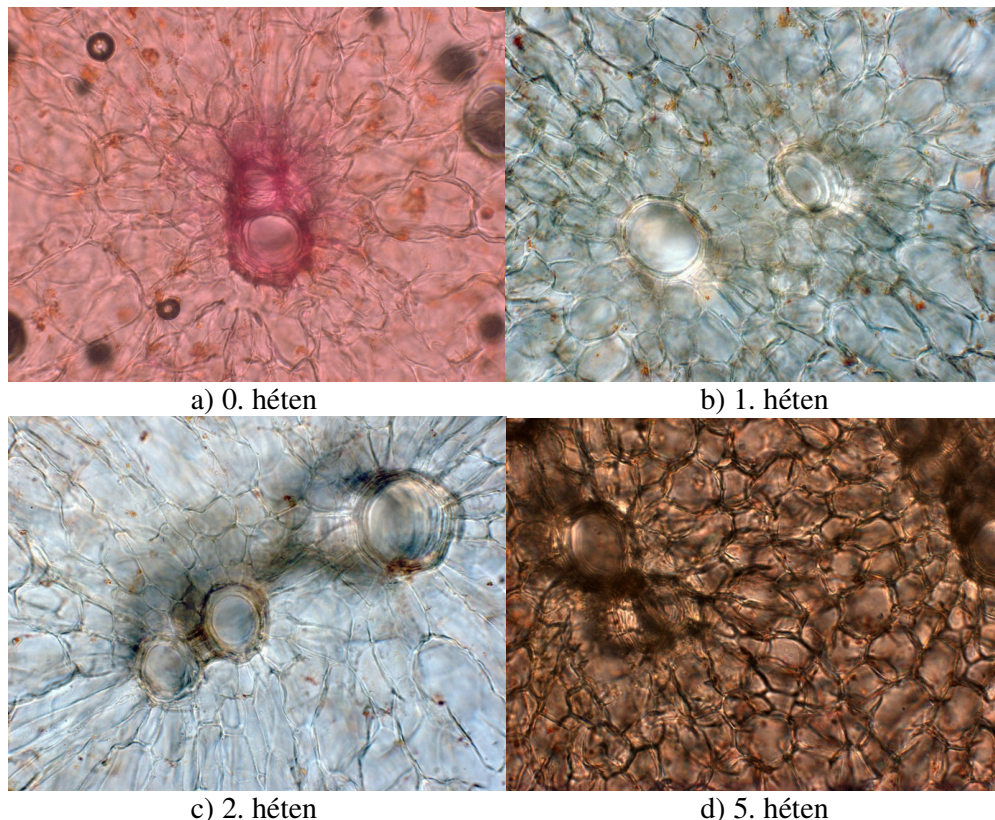
A 22. ábra a légzésintenzitás alakulását mutatja a tömegveszteség függvényében az említett négy (A, B, C, D) mintacsoportra. A tendencia hasonló, mint az idő függvényében, de a C csoport tömegvesztesége egy bizonyos idő- és tömegveszteség-tartományban kisebb, mint a másik háromé. A tömegveszteség eltérő értékét számos egyéb tényező mellett a betakarításkor vagy szállításkor keletkezett felszíni hámsérülések is befolyásolják.



22. ábra Légzésintenzitás a tömegveszteség függvényében („EK1” sorozat)

Megállapítottam, hogy a vizsgált időintervallumban a tömegveszteség változása az idő függvényében lineáris függvénnyel közelíthető. A tömegveszteség olyan összetett paraméter, amely a tárolás során a sárgarépában fellépő különböző veszteségek jelentős többségét magába foglalja. Emellett a tömeg változása nagy pontossággal mérhető. Ezek a tényezők különösen indokolják, hogy a fizikai és ízjellemzőkben a tárolás során bekövetkező változások elemzését a tömegveszteség függvényében végezzük el.

A szövettani vizsgálatok is igazolták, hogy vízveszteség esetén megváltozott a parenchima sejtek fala (az ép lefutású sejtfalak hullámosodásnak indultak), a tracheák keresztmetszeti képén is változást tapasztaltunk (a faelemek sejtfalán is alakváltozás figyelhető meg) (Hortobágyi, 1980). A 23. ábrán a sárgarépa farészében található faelemek és parenchima sejtek láthatóak a tárolási kísérlet különböző időpontjairól.



23. ábra Faelemek és parenchimasejtek alakulása a tárolás folyamán a) 0. héten, b) 1. héten, c) 2. héten, d) 5. héten (Nagyítás: 400x)

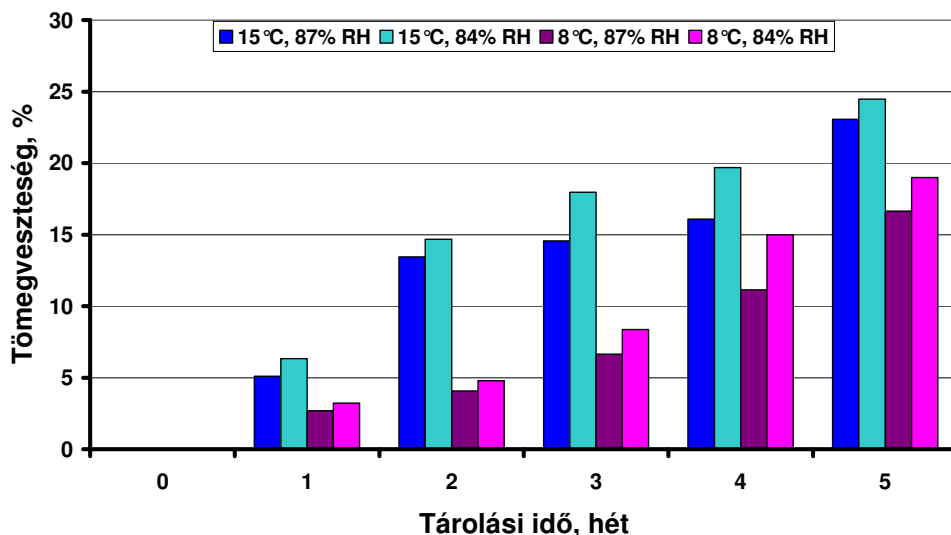
A tárolás során nyomon követtem a parenchima sejtfalak változását és megállapítottam, hogy a 0., 1. és 2. héten készített metszteken nem látszódik különbség a sejtfalakban, azonban az 5. héten már hullámossabbá váltak a sejtfalak, és már itt-ott elszakadtak. További felvételek láthatóak a 10.3. mellékletben a rizodermiszről, cortexről, sztéleről és a benne levő szállítóelemekről; továbbá a kambiumról valamint felvétel egy oldalgyökérképződményről.

5.1.2. Tárolási feltételek meghatározása

A vizsgálathoz $8,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$ és $15,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$ -on, mindkét hőmérsékleten kétféle páratartalom mellett ($87 \pm 1\%$ és $84 \pm 1\%$) összesen 4 különböző sárgarépacsoportot (EK2) tároltam nem ideális körülmények között, a négyhetes tárolás során a fizikai jellemzők változásának nyomon követése céljából. Az alábbi paramétereket határoztam meg: tömegveszteség, vágási erő és vágási

deformáció viszonya, dekompressziós munka és kompressziós munka hányadosa, akusztikus keménységtényező, ütésvizsgálati (impact) keménységtényező. Az ütésvizsgálati keménységtényező segítségével a termény felületi keménységéről kapunk információt. Így a sárgarépa szárához viszonyítva a gyökér 1/3-2/3 részénél történő keresztvágás után a friss vágási felületen, a sárgarépa két fő szövettípusának, a farésznek és a hancsrésznek határoztam meg az ütésvizsgálati keménységi tényezőjét.

A 24. ábrán bemutatott eredményekből kitűnik, hogy a kisebb hőmérsékleten végzett tároláskor – amint az várható is volt – lassabban nőtt a tömegveszteség, mint 15°C-on. Ez a változás magasabb páratartalom mellett is lassabb volt, emellett a kb. 8°C-os tárolási hőmérséklet jobban megfelel a pincékben szokásos átlagos hőmérsékletnek. Meg kell jegyezni továbbá, hogy a nagyobb tömegveszteségnek köszönhetően a tárolás 3. hetétől kezdve szemmel látható ráncosodás jelentkezett a 15°C-on tárolt minták felületén.



24. ábra Tömegveszteség a tárolási idő függvényében („EK2” sorozat)

A 4. táblázat a Durbin–Watson-statisztika eredményeit és a determinációs együtthatókat tartalmazza az egyes paraméterek esetében a tömegveszteség függvényében, az összes mintaszámra lineáris függvénykapcsolatot feltételezve. A táblázatban a DW statisztika elfogadási tartományába eső értékeket zöld színnel, míg a bizonytalansági tartományba tartozó értékeket sárga színnel jelöltem. A jelöletlen DW-érték a tartományon kívülre esett vagy az R^2 érték bizonyult kicsinek.

4. táblázat Durbin–Watson-értékek és determinációs együtthatók lineáris függvénykapcsolat esetén az egyes keménységi paraméterekre a tömegveszteség függvényében

	8,0°C, 87% RH		15°C 87% RH		8,0°C 84% RH		15°C 84% RH	
	DW	R ²	DW	R ²	DW	R ²	DW	R ²
s	1,415	0,688	0,922	0,546	1,579	0,648	1,286	0,678
D farész	1,203	0,362	1,297	0,443	1,520	0,699	1,424	0,664
D háncsrész	1,309	0,654	1,685	0,753	1,520	0,777	1,127	0,650
F _v /D _v	2,222	0,152	1,486	0,082	1,532	0,293	1,585	0,001
M _{DK} /M _K	1,510	0,453	1,914	0,504	1,413	0,759	1,754	0,657
DW elfogadási tartomány			n = 35; k = 1; α = 0,05					
DW bizonytalansági tartomány			DW kritikus d értékek 1,402<1,519<DW<2,481<2,598					

Megállapítottam, hogy az akusztikus keménységtényező (S), az ütésvizsgálati keménységtényező (D) farészre és háncsrészre a 8,0°C-on tárolt sárgarépák esetében mutatta a legszorosabb kapcsolatot a tömegveszteséggel. A vágási erő és vágási deformáció viszonya (F_v/D_v) nem mutatott egyik tárolási esetben sem korrelációt. A dekompressziós munka/kompressziós munka hányadosa (M_{DK}/M_K) és a tömegveszteség kapcsolata 15°C-on tárolt mintáknál mutatta a legjobb eredményt, de megjegyzendő, hogy a 8,0°C-on tárolt sorozatnál az R² érték jobb (R² = 0,759), de a DW-érték csak a bizonytalansági tartományban helyezkedett el.

Mivel a DW-értékek változóak voltak, a dekompressziós munka és kompressziós munka hányadosa, valamint az akusztikus keménységtényező paramétereket Excelben a lineáris és az exponenciális függvénykapcsolatra vizsgáltam. Az eredményeket a 5. táblázatban foglaltam össze, amely a munkaviszony esetében tartalmazza a Durbin–Watson statisztikát (DW), a determinációs együtthatót (R²), az Akaike információs kritérium (AIC) értékét és a becslési hiba (RMSE) nagyságát lineáris és exponenciális függvénykapcsolat mellett. A táblázatban a DW statisztika elfogadási tartományába eső értékeket zöld színnel, míg a bizonytalansági tartományba tartozó értékeket sárga színnel jelöltem. A többi érték a tartományon kívülre esett vagy az R² érték bizonyult kicsinek.

5. táblázat A lineáris és exponenciális függvénykapcsolatok a dekompressziós munka/kompressziós munka hányadosa (M_{DK}/M_K) és a tömegveszteség között (Durbin–Watson-érték, determinációs együttható, Akaike információs kritérium és becslési hiba)

	Lineáris				Exponenciális			
	DW	R ²	AIC	RMSE	DW	R ²	AIC	RMSE
8,0°C 87% RH	1,510	0,453	-216,8	0,0327	1,582	0,516	-165,1	0,0328
15°C 87% RH	1,914	0,504	-183,2	0,0397	2,079	0,516	-160,82	0,0423
8,0°C 84% RH	1,413	0,759	-155,2	0,0778	1,485	0,802	-145,6	0,0578
15°C 84% RH	1,754	0,657	-208,7	0,0480	1,816	0,621	-157,9	0,0533
DW elfogadási tartomány					n = 35; k = 1; α = 0,05 DW kritikus			
DW bizonytalansági tartomány					d értékek 1,402<1,519<DW<2,481<2,598			

Az eredmények alapján megállapítottam, hogy a M_{DK}/M_K paraméter és a tömegveszteség közötti lineáris és exponenciális függvénykapcsolat hasonló eredményt mutatott. Azonban csak az alacsonyabb páratartalmú térben tárolt minták esetében tapasztalható kapcsolat a paraméterek között, amit a DW, az R^2 , az AIC és az RMSE-értékek egyaránt alátámasztottak.

Az akusztikus keménységtényező lineáris kapcsolata a tömegveszteséggel szintén bizonytalanak tűnt, ezért az exponenciális közelítést is megvizsgáltam. A 6. táblázatban láthatóak az eredmények. A táblázatban a DW statisztika elfogadási tartományába eső értékeket zöld színnel, míg a bizonytalansági tartományba tartozó értékeket sárga színnel jelöltem. A többi érték a tartományon kívülre esett vagy az R^2 érték bizonyult kicsinek.

6. táblázat A lineáris és exponenciális függvénykapcsolatok az akusztikus keménységtényező és a tömegveszteség között (Durbin–Watson érték, determinációs együttható, Akaike információs kritérium és becslési hiba)

	lineáris				exponenciális			
	DW	R^2	AIC	RMSE	DW	R^2	AIC	RMSE
8,0°C 87% RH	1,415	0,688	463,2	1306	1,515	0,718	356,5	1187
15°C 87% RH	0,922	0,546	449,2	1049	0,992	0,561	351,6	989,2
8,0°C 84% RH	1,579	0,648	458,1	1194	2,296	0,705	356,1	1098
15°C 84% RH	1,286	0,678	452,2	1087	1,964	0,737	348,5	990,6
DW elfogadási tartomány				$n = 35; k = 1; \alpha = 0,05$				
DW bizonytalansági tartomány				DW kritikus d értékek $1,402 < 1,519 < DW < 2,481 < 2,598$				

A táblázat eredményei szerint az exponenciális illesztés R^2 értéke jobb, mint a lineáris, amit a DW, az R^2 , az AIC és az RMSE-értékek egyaránt alátámasztottak. A 8,0°C-on, 87%-os páratartalom tárolt sorozat esetében a DW statisztika értéke csak az elfogadási tartományba esett mind lineáris, mind exponenciális illesztés esetén. A 15°C-os és 87%-os páratartalmú térben tárolt répák esetében a kapcsolat a paraméterek között csak feltételezhető.

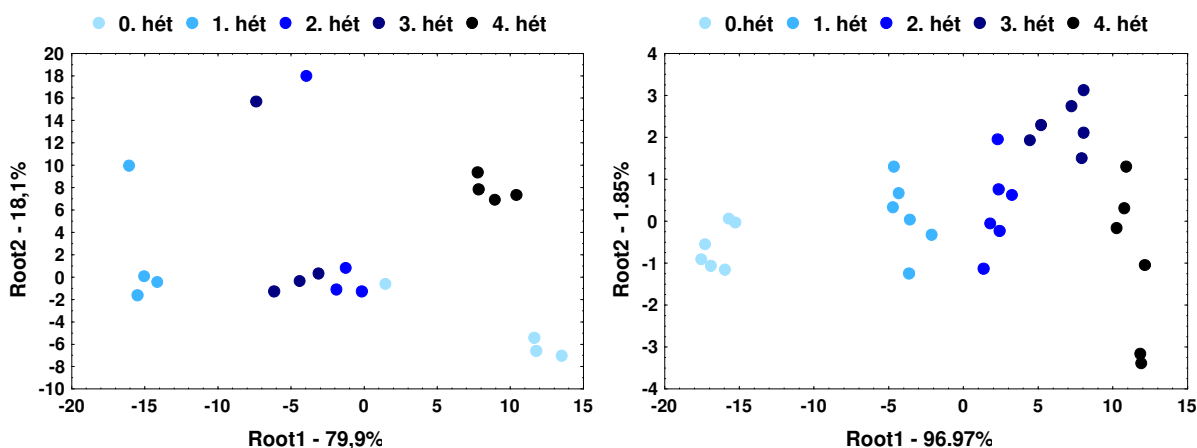
Összefoglalva: 8°C-on és a nagyobb páratartalom (87% RH) mellett a tömegveszteség a legkisebb volt. A tömegveszteséggel való kapcsolatukat vizsgálva a mért paraméterek közül a legjobb eredményt az akusztikus keménységtényező, valamint a dekompressziós munka/kompressziós munka hányadosa adta. Mindkét paraméter esetében lineáris és exponenciális függvénykapcsolatot vizsgáltam. Az eredmények a kisebb páratartalom (84% RH) mellett szorosabb korrelációt mutattak.

5.1.3. Mintaelőkészítés hatása az elektronikus nyelvvel végzett mérések eredményeire

A vizsgálathoz $8,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$ és $15,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$ hőmérsékleten, valamint $87 \pm 1\%$ és $84 \pm 1\%$ páratartalom mellett összesen 4 különböző sárgarépacsoportot (EK2) tároltam nem ideális

körülmények között. Felmerült a kérdés, hogy milyen hatással van az elektronikus nyelvvel végzett mérések eredményeire a méréshez készített sárgarépalevek homogenitása. Ezért méréseket végeztem, melyek során összehasonlítottam a frissen készített és hetente mért minták eredményeit a tárolási kísérlet végéig hetente készített és fagyasztott, majd így a tárolás végén együtt mért minták eredményeivel.

A 25. ábra a diszkriminanciaanalízis eredményét mutatja $8,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$ -on tárolt mintákra a fent említett két mérési esetben, az ábrán a bal oldalon a hetente, frissen mért minták, míg a jobb oldalon a fagyasztott minták eredményei láthatóak. A hetente frissen mért mintáknál az első változó (Root 1) a variancia mintegy 80 %-át, míg a fagyasztott és egyszerre mért mintáknál a variancia kb. 97 %-át írta le. Az ábrából kitűnik, hogy a hetente mért friss minták eredményei nagyobb szórást mutattak, mint a fagyasztott és egyszerre mért minták eredményei.



25. ábra A sárgarépalé-minták diszkriminanciaanalízise (Root1-Root2) az elektronikus nyelv eredményei alapján, baloldalon a hetente frissen mért, jobboldalon a fagyasztott és egyszerre mért minták eredményei („EK2” sorozat)

Az eredmények alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a minták egyidejű méréshez történő fagyasztásos tárolása nem okoz olyan hibát a mérésben, ami az elektronikus nyelv szenzorai által érzékelhető ízváltozást okozna. Ezzel szemben a hetente frissen mért sárgarépaleveket nehezebb egymással összehasonlítani, valamint biztosítani az azonos mintaelőkészítési időt.

Ezeket az eredményeket figyelembe véve a sárgarépalé mintákat az adott tárolási kísérletek végéig hetente fagyasztottam és a mérési sorozat mintáit egyidőben mértem meg.

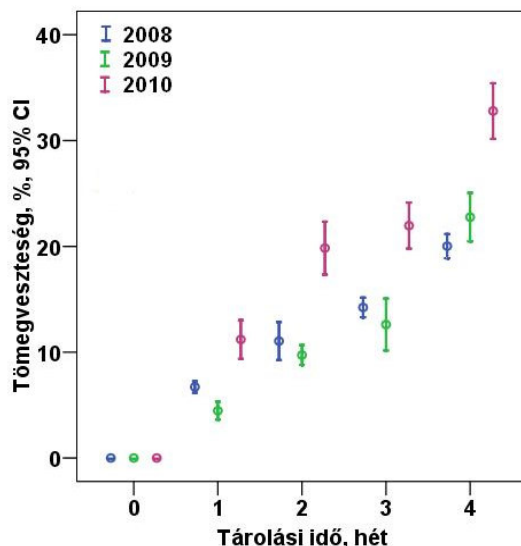
Az előkísérletek eredményeit figyelembe véve a további kísérletek során:

- a vizsgálatokat nem ideális körülmények között, $8,0^\circ\text{C}$ -on, 84%-os relatív páratartalmú térben, 4 hétig tárolt sárgarépákkal folytattam.
- az ízjellemzők vizsgálatához szükséges elektronikus nyelvvel a fagyasztva tárolt lémintákat a kísérlet végén célszerű mérni.

5.2. A tömegveszteség a betakarítást követő tárolás során

A $8\pm0,5^{\circ}\text{C}$ -on és $84\pm2\%$ -os páratartalom mellett három egymást követő évben (2008, 2009 és 2010) végzett tárolási kísérlet folyamán nyomon követtem a tömegveszteség és a nedvességtartalom alakulását. A nem ideális körülmények közötti hűtőszekrényben végzett tárolás során bekövetkező 24,3%-os átlagos tömegveszteség mellett átlagosan 0,1967 kg víz/kg szárazanyag nedvességtartalom csökkenés volt tapasztalható.

A 26. ábra szemlélteti az egyes sorozatok tömegveszteségének alakulását a nem ideális tárolás során.



26. ábra Tömegveszteség (átlag és a 95% megbízhatósági szint) a mérési idő függvényében

A tárolás során a tömegveszteség mértéke hasonló tendenciát mutatott mindegyik sorozatnál. Továbbá igaz, hogy szignifikáns különbség van az egyes mérési csoportok között, azonban a betárolási mérést követő 2. és 3. mérés esetében ez a szignifikáns különbség nem áll fenn.

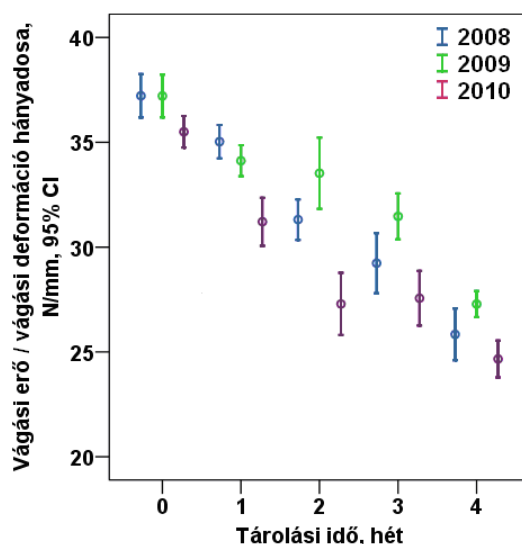
5.3. Sárgarépa kvázistatikus és dinamikus keménységmérésének eredményei

5.3.1. Vágás eredményei

A vágási keménységvizsgálat során két paramétert, a vágási erő és vágási deformáció viszonyt (F_v/D_v), valamint a dekompressziós munka és kompressziós munka hányadosát (M_{DK}/M_K) határoztam meg.

Vágási erő és vágási deformáció viszonya

A 27. ábrán az F_v/D_v paraméter változása látható a tömegveszteség függvényében 95%-os megbízhatósági szinten. Az ábra az egyes csoportok átlagát is mutatja. A sorozatok azonos tendenciával változnak, a paraméter értéke csökken az idő múlásával



27. ábra Vágási erő és vágási deformáció viszonya a tárolási idő függvényében, 95%-os megbízhatósági szinten (2008., 2009. és 2010. évi sorozatok)

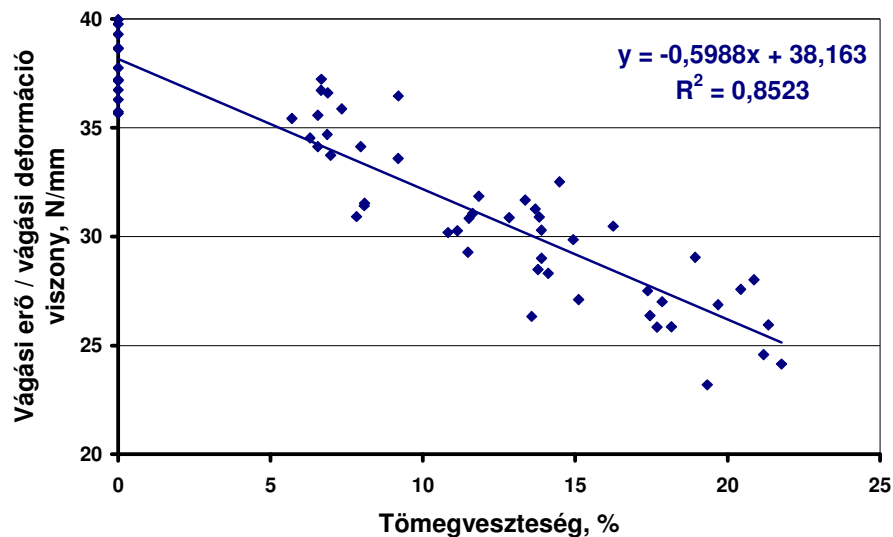
Megvizsgáltam az F_v/D_v paraméter és a tömegveszteség közötti kapcsolatot. A 7. táblázat szemlélteti a kiszámított Durbin–Watson statisztika értékeit elfogadási tartománnyal, a determinációs együtthatókat, az Akaike információs kritériumot (AIC) az egyes sorozatok (2008, 2009 és 2010) összes mintáira sorozatonként és a közös modellillesztés esetén, valamint a 2008-2009. évek adataira is.

7. táblázat A sorozatok Durbin–Watson értékei, determinációs együtthatói és AIC értékei a vágási erő/vágási deformáció értékei alapján

Mérési sorozat	DW kritikus d értékek				DW	R^2	AIC
2008	n=60	k=1	$\alpha=0,05$	1,549<1,616<DW<2,384<2,451	1,925	0,853	211,02
2009	n=60	k=1	$\alpha=0,05$	1,549<1,616<DW<2,384<2,451	2,031	0,845	212,53
2010	n=45	k=1	$\alpha=0,05$	1,475<1,566<DW<2,434<2,525	1,661	0,889	50,75
Közös modell	n=165	k=1	$\alpha=0,05$	1,733<1,758<DW<2,242<2,267	1,889	0,827	194,41
2008-2009	n=120	k=1	$\alpha=0,05$	1,685<1,719<DW<2,281<2,315	1,979	0,829	125,60
DW elfogadási tartomány				DW bizonytalansági tartomány			

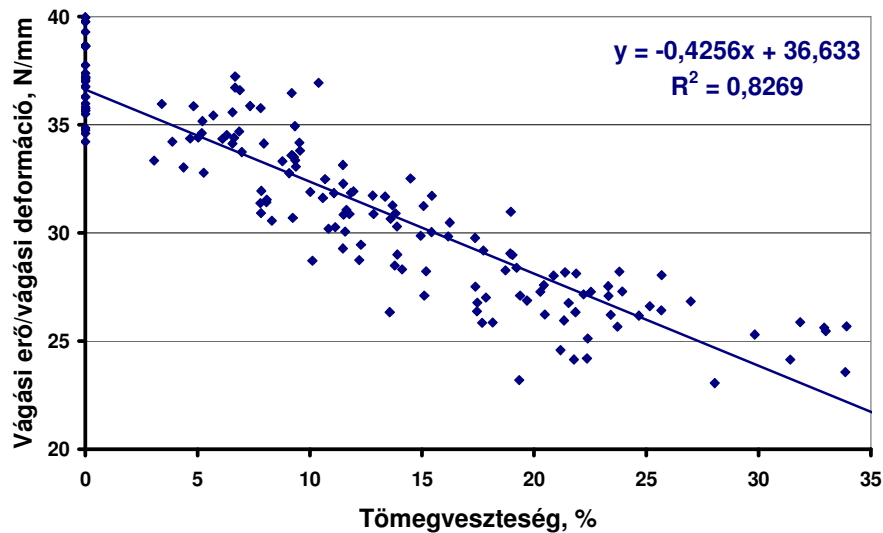
Mindegyik sorozatnál az értékek az elfogadási tartományba estek, ennek alapján helyes a felállított lineáris modell. Mivel a mérési pontok a tömegveszteség függvényében ábrázolva egyértelműen lineáris összefüggést mutattak, ezért nem tartottam szükségesnek a további függvénykapcsolat keresését.

A 28. ábrán a 2008. évben mért sorozatra a vágási erő és vágási deformáció viszonya látható a tömegveszteség függvényében. Szoros lineáris kapcsolatot találtam a paraméterek között, a tömegveszteség mértékének növekedésével a vágási erő és vágási deformáció viszonya csökkent. Ezt az eredményt a 2009. és 2010. évi mérési sorozatok is megerősítették.

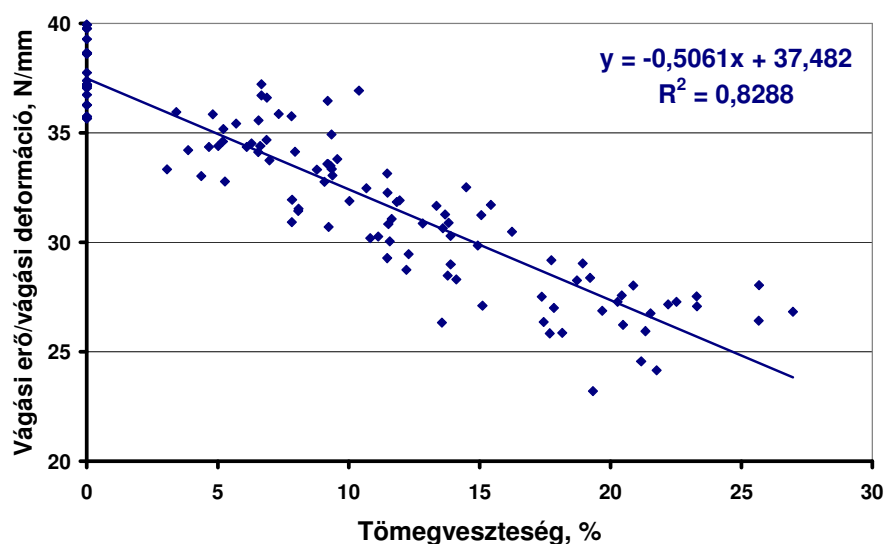


28. ábra A vágási erő és vágási deformáció viszonya (F_v/D_v) a tömegveszteség függvényében (2008. évi mérési sorozat)

Felmerül a kérdés, hogy az egyes sorozatok eredményei alapján illeszthető-e közös modell az összes adatra. A közös modellillesztés az összes (2008, 2009 és 2010) mérési adatra a 29. ábrán, míg csak a 2008-2009. évek adataira a 30. ábrán látható. Szoros korrelációt találtam a vágási erő/vágási deformáció viszony és a tömegveszteség között. A változás iránya és jellege az egyes sorozatoknál hasonlóknak bizonyult.



29. ábra A vágási erő és vágási deformáció viszonya (F_v/D_v) a tömegveszteség függvényében (közös modellillesztés az összes sorozatra, 2008, 2009 és 2010)



30. ábra A vágási erő és vágási deformáció viszonya (F_v/D_v) a tömegveszteség függvényében (közös modellillesztés a 2008. és 2009. évi sorozatokra)

Regresszióanalízissel megállapítottam, milyen szoros korrelációval és mekkora hibával becsülhető a tömegveszteség a vágási erő és vágási deformáció viszonyából (F_v/D_v). A 8. táblázat tartalmazza a modellt, a modellépitést, valamint a LOO keresztvalidáció paramétereit. Szoros korrelációt mutatott a becslés, kis becslési hibával. Tehát a tömegveszteség jó közelítéssel becsülhető az F_v/D_v értékekből. A táblázat tartalmazza a 2008., 2009. és 2010. évi mérési sorozat összes adatával elvégzett, valamint – a 2008-2009. évekre végzett regresszióelemzést is. A 2008. évi eredményeket a 2009. és 2010. évi mérések is megerősítették. A 3 év közös illesztés, valamint a 2008-2009. évek adataira történő illesztés is az évenkénti eredményhez hasonlóan bizonyult.

8. táblázat Regresszióelemzés a tömegveszteség becslésére a vágási erő és vágási deformáció viszonya (F_v/D_v) alapján

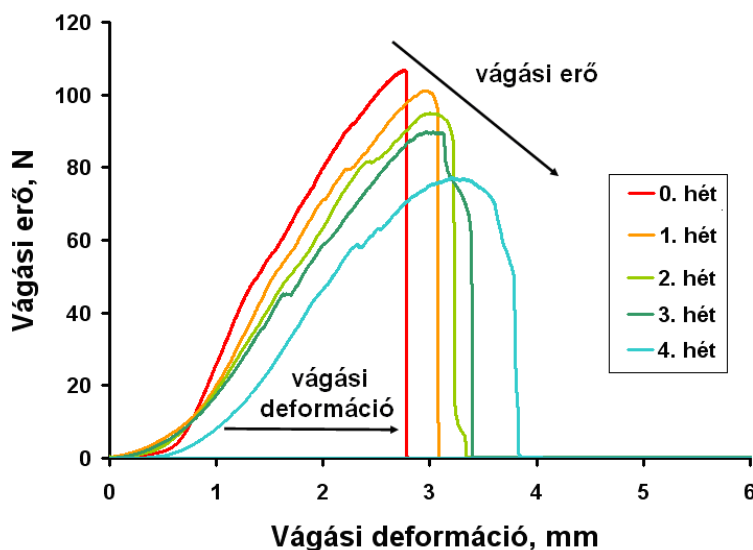
Mérési sorozat	kalibráció				keresztvalidáció					
	r^1	SEC ²	RMSEC ³	Bias ⁴	r^1	R^2	SEP ⁵	RMSEP ⁶	Bias ⁴	RPD ⁷
2008	0,923	2,621	2,599	1,629e-6	0,9232	0,852	2,707	2,684	0,00527	2,147
2009	0,925	1,992	1,967	8,742e-7	0,919	0,845	2,105	2,079	-0,0218	2,256
2010	0,947	1,942	1,911	-2,003e-6	0,943	0,889	1,970	1,939	-0,00898	2,063
közös	0,909	2,098	2,087	4,129e-7	0,909	0,827	2,152	2,140	-0,00476	2,006
2008-2009	0,912	2,034	2,022	1,721e-6	0,9104	0,829	2,091	2,078	-0,00087	2,106

¹Korrelációs koefficiens; ²kalibráció standard hibája; ³kalibráció becslési hibája; ⁴módszeres különbség a becslt és mért értékek között; ⁵keresztvalidáció standard hibája; ⁶keresztvalidáció becslési hibája; ⁷jósolható eltérés aránya

Szoros lineáris kapcsolatot találtam a vágási erő és vágási deformáció viszony és a tömegveszteség között, amelyet több sorozat adatainak együttes vizsgálata (2008-2009-2010. évek és 2008-2009. évek) is megerősített. Az eredmények alapján kijelenthető, hogy a vágási erő és vágási deformáció viszony (F_v/D_v) paraméterrel jól becsülhető a tömegveszteség.

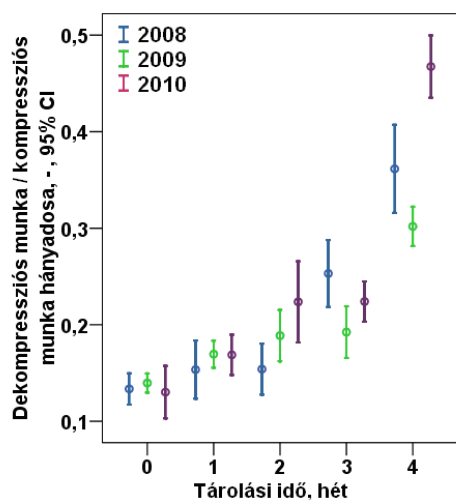
Dekompressziós munka és kompressziós munka hányadosa

A vágási keménységvizsgálat másik számolt paramétere a dekompressziós munka és kompressziós munka hányadosa (M_{DK}/M_K) volt, melyet szintén az erő/deformáció görbe adataiból számoltam ki. A 31. ábra a vágási erő változását mutatja a kompresszió során a deformáció függvényében. Minden görbe 1-1 mérési hét mintáinak görbéjéből készült átlagát mutatja. A mérés során felvett vágási erő és vágási deformáció görbékből megállapítottam, hogy a tárolási idő múlásával a vágási deformáció értéke nőtt, a maximális vágási erő értéke pedig csökkent.



31. ábra A vágási erő a deformáció függvényében (2008. évi sorozat)

A dekompressziós munka és kompressziós munka hányadosának változását az idő függvényében a 32. ábra szemlélteti. Az ábra az egyes mérési hetek csoportátlagát is mutatja. Jól látható, hogy az idő múlásával a paraméter értéke egyre nagyobb lesz, és a három sorozat értékei kezdetben igen hasonló értéket mutatnak, azonban a különbség a sorozatok között az idő múlásával növekszik, de megfigyelhető, hogy nincs szignifikáns különbség a 2. és 3. héten mért csoportok között, csak a 2008. év esetében.



32. ábra A dekompresziós munka és kompressziós munka hányadosa a tárolási idő függvényében 95%-os megbízhatósági szinten (2008., 2009. és 2010. évi sorozatok)

A dekompresziós munka és kompressziós munka hányadosát a tömegveszteség függvényében vizsgáltam és először lineáris modellt alkalmaztam. Az eredmények azt mutatták, hogy a lineáris modell nem megfelelő a két paraméter közötti kapcsolat leírására. Ezért modellszelekciót végeztem Akaike információs kritérium (AIC) segítségével, valamint figyelembe vettem a modellillesztés becslési hibáját és a Durbin–Watson statisztika értékeit is. A lineáris modell mellett megvizsgáltam az exponenciális modellt, és a modellillesztést elvégeztem az összes mérési adatra is. A modellszelekció eredményét a 9. táblázat tartalmazza.

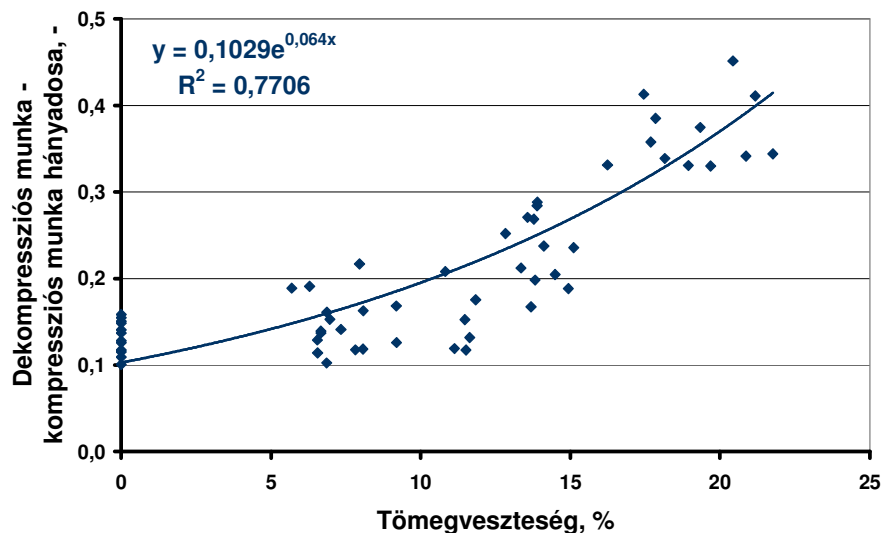
9. táblázat A dekompresziós munka és kompressziós munka hányadosa és tömegveszteség kapcsolatának meghatározásához alkalmazott modellek Durbin–Watson statisztika értékei, determinációs együtthatói, Akaike értékei és becslési hibái

Mérési sorozat	DW kritikus d értékek	Lineáris				Exponenciális			
		DW	R ²	AIC	RMSE	DW	R ²	AIC	RMSE
2008	n=60 k=1 α=0,05 1,549<1,616<DW<2,384<2,451	1,363	0,6464	-143,07	0,055	1,617	0,7706	-156,37	0,046
2009	n=60 k=1 α=0,05 1,549<1,616<DW<2,384<2,451	1,808	0,7411	-363,07	0,031	2,115	0,7657	-365,14	0,026
2010	n=45 k=1 α=0,05 1,475<1,566<DW<2,434<2,525	0,726	0,7155	-240,92	0,066	1,996	0,8591	-259,45	0,053
Közös modell	n=165 k=1 α=0,05 1,733<1,758<DW<2,242<2,267	1,679	0,6890	-962,98	0,048	1,839	0,7147	-976,39	0,045
2008-2009	n=120 k=1 α=0,05 1,685<1,719<DW<2,281<2,315	1,692	0,6451	-724,1	0,048	1,832	0,6680	-730,65	0,035
DW elfogadási tartomány		DW bizonytalansági tartomány							

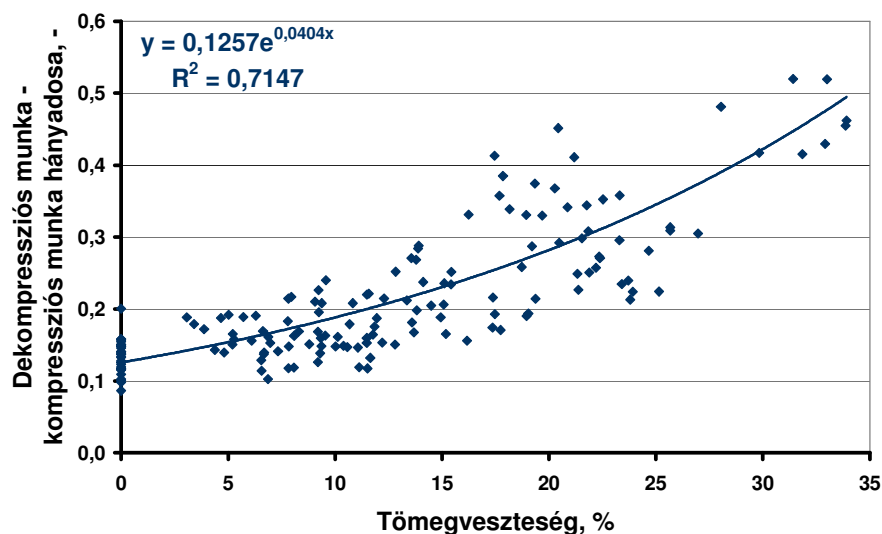
A táblázat alapján az exponenciális függvénnyel pontosabban leírható a dekompresziós munka és kompressziós munka hányadosa, valamint a tömegveszteség közötti összefüggés, mint a lineáris modellel. A zöld színnel jelölt értékek a DW statisztika szerint exponenciális illesztésnél az elfogadási tartományba estek minden esetben. Azonban a lineáris kapcsolatot vizsgálva a 2008. és

2010. évi sorozatok, valamint a közös modellillesztés esetén a DW-érték a tartományon kívülre esett

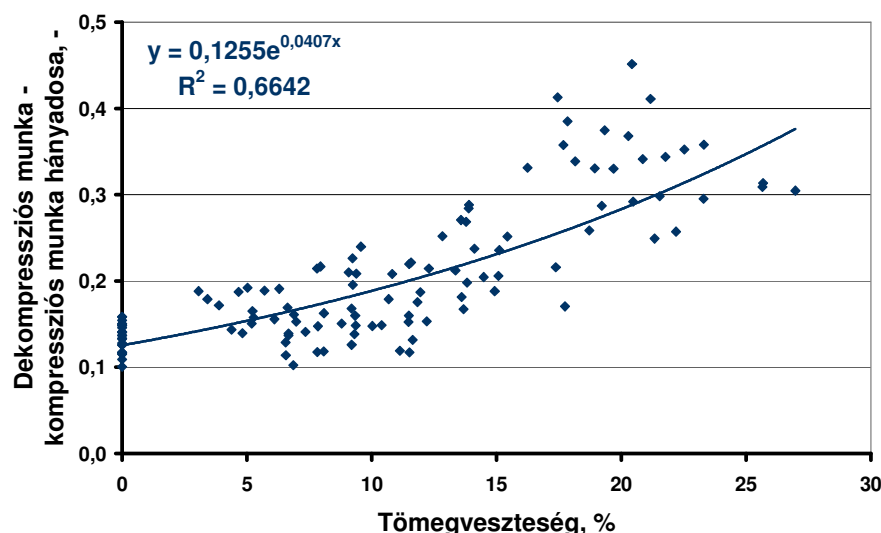
A 33. ábrán a 2008. évi sorozat exponenciális illesztése, a 34. ábrán mindhárom sorozat összes adatára, míg a 35. ábrán pedig a 2008-2009. évek adataira illesztett exponenciális függvény látható. A 2008. évi sorozatnál jó kapcsolat van a dekompresziós munka és kompressziós munka hányadosa, valamint a tömegvesztesség között. Ezt az eredményt a 2009. és 2010. évi sorozatok is megerősítették. Az összes adatra illesztett modell esetében is (34. ábra) a korreláció jónak bizonyult, bár gyengébb értéke volt ($R^2 = 0,7147$) az évenkénti illesztésekhez képest. A 2008-2009. évek esetében (35. ábra) csak elfogadható kapcsolatról beszélhetünk ($R^2 = 0,6680$).



33. ábra Dekompresziós munka és kompressziós munka hányadosa a tömegvesztesség függvényében (2008. évi sorozat)



34. ábra Dekompresziós munka és kompressziós munka hányadosa a tömegvesztesség függvényében (közös modellillesztés az összes sorozatra 2008, 2009, 2010)



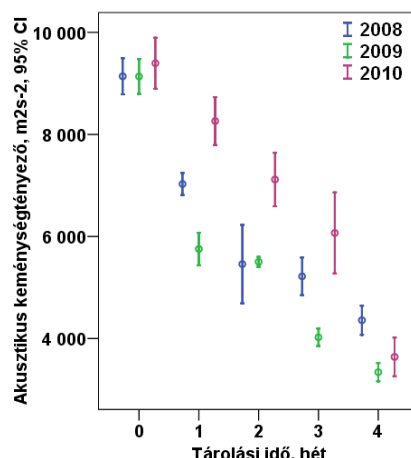
35. ábra Dekompressziós munka és kompressziós munka hányadosa a tömegveszteség függvényében (közös modellillesztés a 2008-2009. évek adataira)

Megállapítottam, hogy az exponenciális modell segítségével leírható a dekompressziós munka és kompressziós munka hányadosa, valamint a tömegveszteség közötti kapcsolat, amit a Durbin–Watson statisztika értéke, az Akaike-kritérium értéke és a modell becslési hibája is alátámasztott. Továbbá sikerült exponenciális modell illesztésével három egymást követő év összes mérési adatának felhasználásával jó kapcsolatot találni a dekompressziós munka és kompressziós munka hányadosa és a tömegveszteség között.

Összefoglalva a vágási keménységvizsgálat eredményeit: szoros a korreláció a vágási erő és vágási deformáció viszonya, valamint a tömegveszteség között. Jó a korreláció a dekompressziós munka és kompressziós munka hányadosa, valamint a tömegveszteség között. Megállapítottam, hogy a dekompressziós munka és kompressziós munka hányadosa és tömegveszteség között exponenciális kapcsolat van. Regresszióanalízissel igazoltam, hogy a tömegveszteség becsülhető a vágási erő és vágási deformáció viszonyából. Sikerült modellt felállítanom a három egymást követő évben mért sárgarépa sorozatok összes adatára a vágási erő és vágási deformáció viszonya, valamint a dekompressziós munka és kompressziós munka hányadosa esetében. Ennek alapján a vágási erő és vágási deformáció viszony, valamint a tömegveszteség közötti kapcsolat lineáris függvénnyel, míg a dekompressziós munka és kompressziós munka hányadosa, valamint a tömegveszteség közötti kapcsolat exponenciális függvénnyel írható le. Összehasonlítva a két paraméter eredményeit, a vágási erő és vágási deformáció hányadosa alkalmasabb a tárolás során bekövetkező keménységváltozás nyomonkövetésére és becslésére, mint a dekompressziós munka és kompressziós munka hányadosa.

5.3.2. Akusztikus keménységvizsgálat eredményei

A dinamikus keménységmérési módszerek egyik alapvető típusa az akusztikus keménységmérési módszer, mellyel a sárgarépa minták globális keménységét határoztam meg a tárolás során. A 36. ábrán az akusztikus keménységtényező változása látszik a tárolási idő függvényében.



36. ábra Az akusztikus keménységtényező alakulása a tárolási idő függvényében 95%-os megbízhatósági szint mellett (2008., 2009. és 2010. évi sorozatok)

A három sorozat akusztikus keménységtényezője kis mértékben eltér a tárolás során, de mindegyik esetében azonos csökkenő tendenciát tapasztaltam. Továbbá látható, hogy a lila színnel jelölt 2010. évi sorozat csoportjainak nagyobb a szórása a másik két sorozathoz képest.

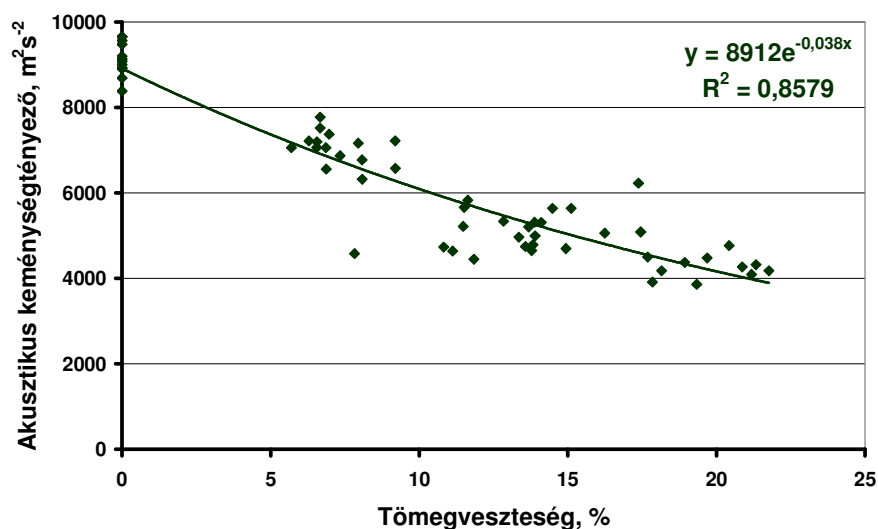
Megvizsgáltam az akusztikus keménységtényező változását a tömegveszteség függvényében. Azt tapasztaltam, hogy az előkísérletekhez hasonlóan a lineáris megközelítés nem volt megfelelő, ezért megvizsgáltam az exponenciális modellt. Az egyes mérési sorozatok eredményeit a 10. táblázat tartalmazza.

10. táblázat Az akusztikus keménységtényező és a tömegveszteség közötti kapcsolat alapján az illesztett modellek, Durbin–Watson-értékek, determinációs együtthatók, Akaike-értékek és a becslési hibák

Mérési sorozat	DW kritikus d értékek	Lineáris				Exponenciális			
		DW	R ²	AIC	RMSE	DW	R ²	AIC	RMSE
2008	n=60 k=1 α=0,05 1,549<1,616<DW<2,384<2,451	1,411	0,816	593,8	662,6	1,705	0,858	582,5	618,9
2009	n=60 k=1 α=0,05 1,549<1,616<DW<2,384<2,451	0,885	0,746	605,0	769,0	1,676	0,858	597,5	689,7
2010	n=45 k=1 α=0,05 1,475<1,566<DW<2,434<2,525	1,616	0,675	612,8	866,0	1,857	0,720	606,1	804,6
Közös illesztés	n=165 k=1 α=0,05 1,733<1,758<DW<2,242<2,267	1,752	0,518	2396	1406,1	1,955	0,568	2182	1347,6
2008-2009	n=120 k=1 α=0,05 1,685<1,719<DW<2,281<2,315	1,614	0,758	1650	951,7	1,858	0,817	1622	847,0
DW elfogadási tartomány		DW bizonytalansági tartomány							

Meghatároztam mindkét modell esetében a DW-statisztika, az R^2 -, az AIC-, valamint a RMSE-értékeket. Ezek az értékek alátámasztották, hogy a kapcsolat exponenciális. A lineáris kapcsolat esetén csak a 2010. évi sorozat DW-értéke volt az elfogadási tartományban, a 2008. és 2009. évi sorozatok DW-értéke a tartományon kívülre, míg a közös illesztés DW-értéke a bizonytalansági tartományban volt. Azonban ennél a sorozatnál is az exponenciális illesztés bizonyult pontosabbnak. Ez a tény, valamint az AIC- és RMSE-értékek nagysága igazolta, hogy az akusztikus keménységtényező és a tömegveszteség közötti kapcsolat exponenciális függvénnyel írható le.

A 37. ábra szemlélteti a 2008. évi sorozat eredményét, amit megerősítettek a következő két évben mért sorozatok eredményei is. Megállapítottam, hogy a tárolás során a keménység értéke exponenciálisan csökkent, a korreláció szorosnak bizonyult.



37. ábra Akusztikus keménységtényező a tömegveszteség függvényében (2008. évi sorozat)

Amint a 10. táblázatból is látható, megvizsgáltam, hogy egyetlen modell illesztésével leírható-e kapcsolat az akusztikus keménységtényező és a tömegveszteség között. A közös illesztés során az exponenciális modell segítségével szorosabb kapcsolatot találtam az akusztikus keménységtényező és a tömegveszteség között, mint a lineárisal, de az R^2 értéke jóval alacsonyabb volt, és csak elfogadható korrelációról árulkodott.

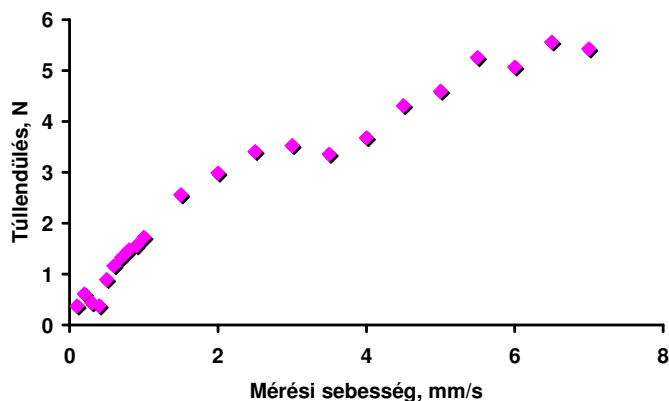
Exponenciális összefüggést találtam a sárgarépan mért akusztikus keménységtényező és a tömegveszteség között a 2008. és 2009. évi sorozatok esetében. Az egyes sorozatokat külön-külön vizsgálva szoros korrelációt találtam a paraméterek között, azonban a sorozatok összes adatával elvégezve a vizsgálatot a nagy szórás miatt gyenge eredményt kaptam.

5.3.3. Sárgarépa szövetszerkezetének mechanikai és reológiai vizsgálata

A sárgarépa két fő szöveti típusa a farész és a háncsrész, melyeknek szerkezeti felépítése, valamint a növényben betöltött szerepe eltérő. A tárolás során bekövetkező élettani folyamatoknak köszönhetően megváltozik a szövetek állománya, ezért célom volt ennek nyomonkövetése. Két módszert választottam a tárolás során bekövetkező ilyen jellegű keménységváltozás elemzésére: kvázistatikus módszerként a kúszás-kirugózás tesztet, dinamikus keménységmérési módszerként pedig az ütésvizsgálati (impact) módszert.

5.3.3.1. Kúszás-kirugózás eredményei

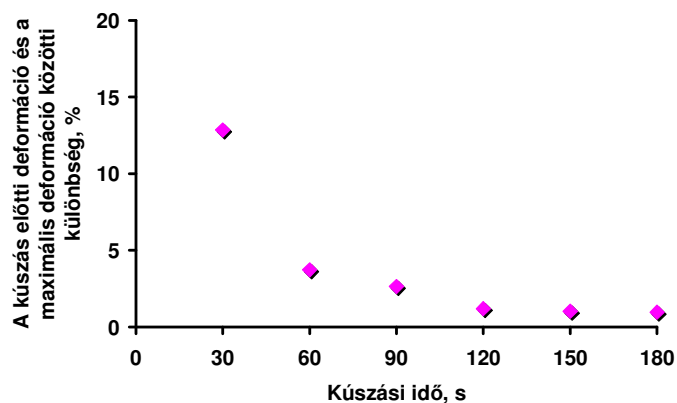
A kúszás-kirugózás teszt (CRT) során vizsgáltam a sárgarépa farészét és háncsrészét is. Az ezekből kivágott kockák megnyomásakor meghatároztam a méréshez szükséges mérési sebességet, valamint a kúszási időt. A mintákat 0,1 mm/s-tól 7 mm/s-ig vizsgáltam, kezdetben 0,1 mm/s-es, később 0,5 mm/s-os sebességnöveléssel. Méréseim során 60 N terhelőerőt választottam, ami a minták magasságához viszonyítva 20-25%-os deformációt eredményezett (38. ábra).



38. ábra A kúszás-kirugózás teszt alatt a túllendülés a mérési sebesség függvényében a farész esetében

Az ábrán a túllendülés látható a mérési sebesség függvényében. Minél gyorsabb a mérés, annál nagyobb a hiba, amit a nagyobb sebességeknél tapasztalt túllendülés lengése is megerősít. A mérési hiba csökkentése érdekében a még elfogadható legkisebb sebességet választottam (0,1 mm/s).

A kúszási idő kiválasztásánál figyelembe vettem, hogy a kúszás az idő múlásával állandósul, a pontos méréshez nagyon hosszú időre lenne szükség. Méréseket végeztem 30 s és 180 s közötti kúszási időkkel, valamint megvizsgáltam a 60 N terhelőerőhöz tartozó kúszás előtti deformációt (D_{ke}) és a kúszási idő eltelte után jelentkező maximális deformáció (D_{max}) is. Megnéztem, hogy D_{max} és D_{ke} értéke között hány százalékos az eltérés, és ábrázoltam azt a kúszási idő függvényében (39. ábra).

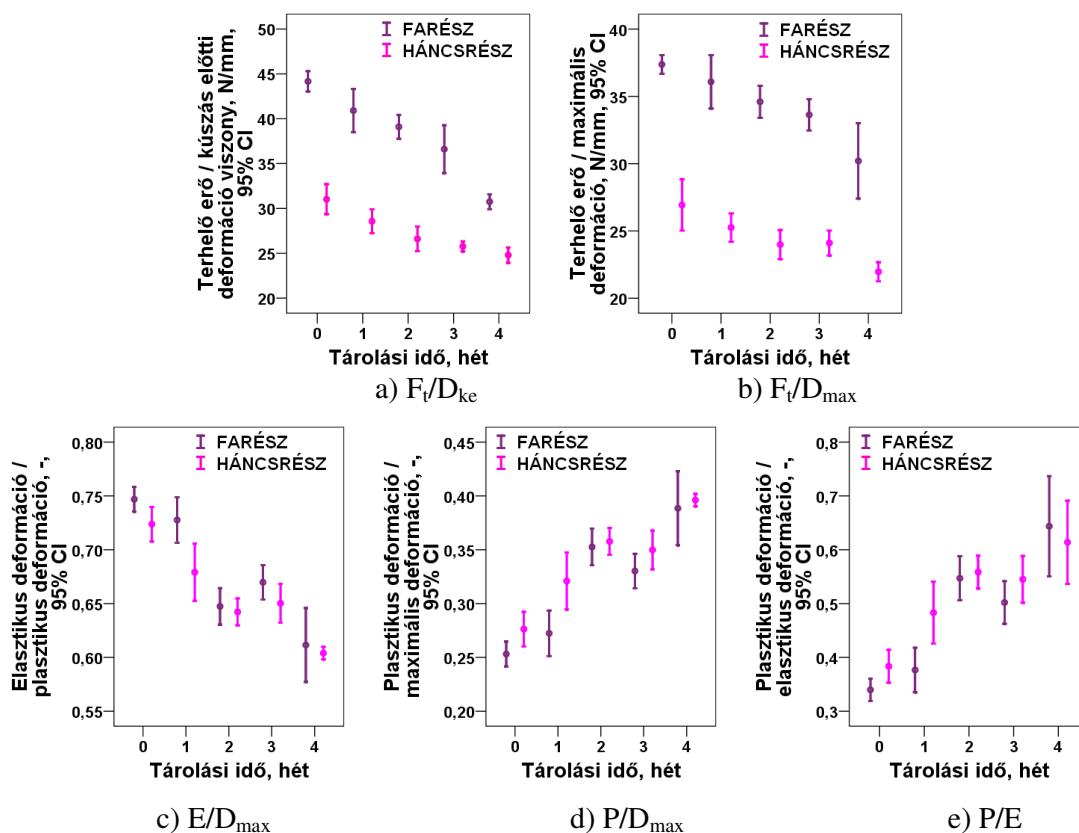


39. ábra A maximális deformáció és a kúszás kezdőpontjában mért deformáció közötti különbség százalékban a kúszási idő függvényében farész esetében

A D_{\max} és a D_{ke} közötti különbség csökkenést mutatott a kúszási idő növelésével. 120 s kúszási idő esetén már látható volt az állandósulási tendencia, a különbség a 90 s-hoz képest 1,19 % volt, ami megfelelőnek bizonyult volna a méréshez. Azonban a sárgarépa mérésekor a mintákat fel kell vágni, aminek következtében a száradási folyamat felgyorsul. Ebben az esetben a mintaszámok és a mérési ismétlések száma miatt az adott csoport mintáinak mérési eredményei nagy hibát mutattak volna. Erre való tekintettel a 60 s-os idő mellett döntöttem, annak ellenére, hogy így a hiba 3,72% volt. A háncsrész vizsgálatánál is a 60 s-ot vettem figyelembe.

Kúszás-kirugózás teszt eredményeként a tárolási során bekövetkezett változások

A kúszás-kirugózás teszt eredményeként a következő paramétereket határoztam meg a sárgarépa farészén és háncsrészén: a terhelőerő és kúszás előtti deformáció viszonyát (F_t/D_{ke}), a terhelőerő és maximális deformáció viszonyát (F_t/D_{\max}), az elasztikus deformáció és maximális deformáció viszonyát (E/D_{\max}), a plasztikus deformáció és maximális deformáció viszonyát (P/D_{\max}) és a plasztikus deformáció és elasztikus deformáció viszonyát (P/E). A méréseimet a száliránnyal párhuzamos terheléssel végeztem. A 40. ábrán a kúszás-kirugózás teszt paramétereinek változása látható a tárolási idő függvényében 95%-os megbízhatósági szint mellett.



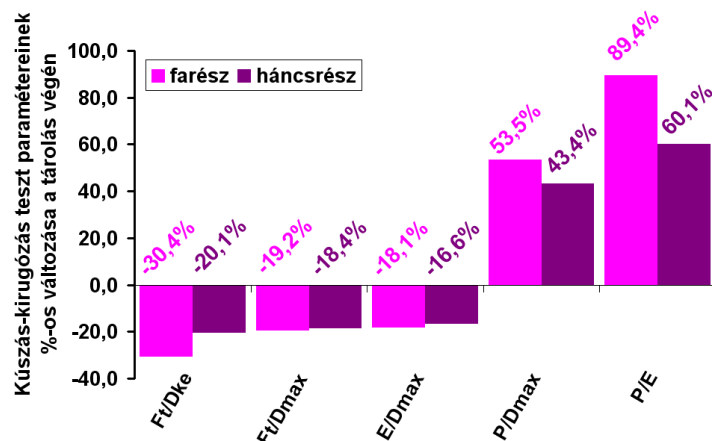
40. ábra A kúszás-kirugózás teszt paraméterei a tárolási idő függvényében 95%-os megbízhatósági szint mellett a) terhelőerő/kúszás előtti deformáció (F_t/D_{ke}), b) terhelőerő/maximális deformáció (F_t/D_{max}), c) elasztikus deformáció/maximális deformáció (E/D_{max}) d), plasztikus deformáció/maximális deformáció (P/D_{max}), e) plasztikus deformáció/elasztikus deformáció (P/E) (2010. évi sorozat)

Az F_t/D_{ke} és az F_t/D_{max} paraméterek esetén a farész és háncsrész értékei elkülönülnek egymástól és a háncsrész értékei kisebbek. Az E/D_{max} , P/D_{max} , P/E paraméterek esetében a farész és háncsrész között nem érzékelhető nagy különbség. A farész esetében szignifikáns különbség látható a 3. és 4. heti minták között az F_t/D_{max} értéket leszámítva, a háncsrész esetében szintén csak az utolsó két hét eredményei között tapasztalható szignifikáns különbség, kivétel az alól az F_t/D_{ke} és P/E paraméter. További észrevétel, hogy a háncsrész esetében minimális különbség van a 2. és 3. hét mintáinak átlaga között, ezek igen közel esnek egymáshoz.

A 41. ábrán a kúszás-kirugózás teszt paramétereinek százalékos változása látható a tárolási kísérlet végén a kezdeti állapothoz viszonyítva, amit az alábbi képlettel számoltam ki:

$$\% - os \text{ változás} = 100 - \frac{4. \text{ hét értéke} \cdot 100}{0. \text{ hét értéke}} \quad (6)$$

Amennyiben a tárolás során a paraméter értéke növekszik, a változás értéke pozitív előjelű, míg ha csökken, akkor negatív előjelet kap. Az ábrából kiderül, hogy az F_t/D_{ke} és P/E paraméterekben a legnagyobb a változás, utóbbinál a farész esetében majdnem kétszeresére nőtt a P/E értéke a kiindulási értékhez képest. Továbbá megállapítottam, hogy a farész esetében mindig nagyobb volt a változás mértéke, mint a háncsrészen. A 11. táblázat tartalmazza az egyes paraméterek szórását a farészre és a háncsrészre.

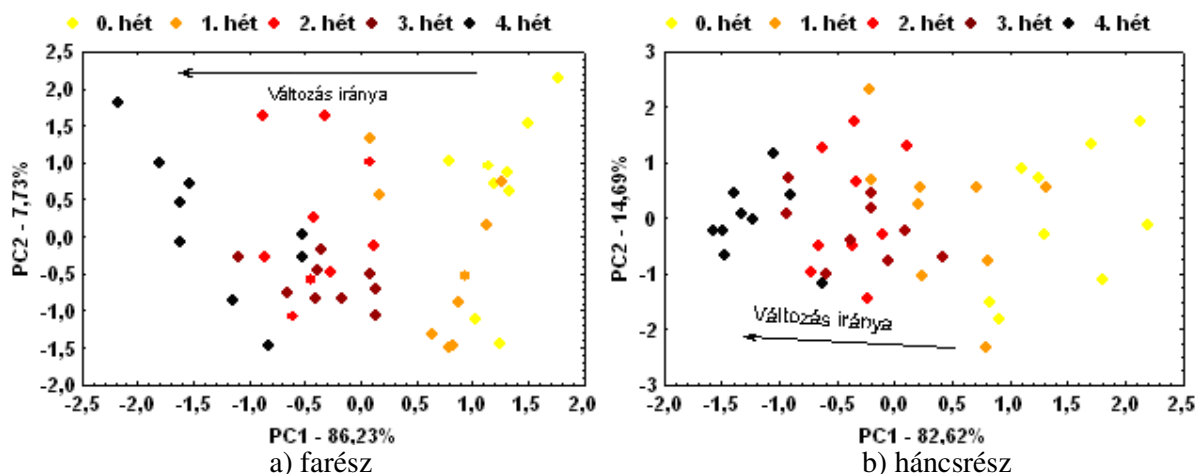


41. ábra A kúszás-kirugózás teszt paramétereinek a terhelőerő/kúszás előtti deformáció (F_t/D_{ke}), a terhelőerő/maximális deformáció (F_t/D_{max}), az elasztikus deformáció/maximális deformáció (E/D_{max}), a plasztikus deformáció/maximális deformáció (P/D_{max}) és plasztikus deformáció/elasztikus deformáció (P/E) százalékos változása a tárolás idő végére (2010. évi sorozat)

11. táblázat A farészen és háncsrészen mért kúszás-kirugózás teszt paraméterek szórása

szövettypus	F_t/D_{ke}	F_t/D_{max}	E/D_{max}	P/D_{max}	P/E
farész	5,0447	2,7355	0,05610	0,05610	0,1246
háncsrész	2,4782	1,8217	0,04465	0,04465	0,08782

Főkomponens-analízist (PCA) és diszkriminanciaelemzést is végeztem az egyes sárgarépa mintákon a kúszás-kirugózás teszt F_t/D_{ke} , F_t/D_{max} , E/D_{max} , P/D_{max} és P/E paramétereire együttesen a farész és háncsrész esetén. A sárgarépa minták PCA elemzésének eredményét a 42. ábra mutatja. Megállapítható, hogy az első két főkomponens a farészre az összes variancia 93,96%-át írja le, a háncsrészre pedig 97,31%-át. A különböző heteken mért csoportok nem különülnek el teljesen egymástól, bizonyos mértékű átfedést mutatnak az első főkomponens mentén, a második főkomponens mentén pedig nagyobb a szórás. A tárolási időnek megfelelő sorrend egyértelmű, azonban a különböző hetek adatai nagy átfedést mutatnak. A DA-analízis is megerősítette a PCA-eredményét.



42. ábra Főkomponens elemzés (PC1 – PC2) a kúszás-kirugózás teszt paraméterei terhelőerő / kúszás előtti deformáció (F_t/D_{ke}), terhelőerő/maximális deformáció (F_t/D_{max}), elasztikus deformáció/maximális deformáció (E/D_{max}), plasztikus deformáció/maximális deformáció (P/D_{max}) és plasztikus deformáció/elasztikus deformáció (P/E) alapján, a) farészen, b) háncsrészen (2010. évi sorozat)

A csoportok elkülöníthetőségét és a felállított modell robusztusságát háromszoros keresztkorrelációt alkalmazva, a 12. (farészre,) és a 13. táblázat (háncsrészre) szemlélteti.

12. táblázat A hetente mért sárgarépa csoportok diszkriminancia-elemzésének keresztvalidációs táblázata a kúszás-kirugózás teszt paraméterei a farész (F_t/D_{ke} , F_t/D_{max} , E/D_{max} , P/D_{max} és P/E) paraméterei alapján (2010. évi sorozat)

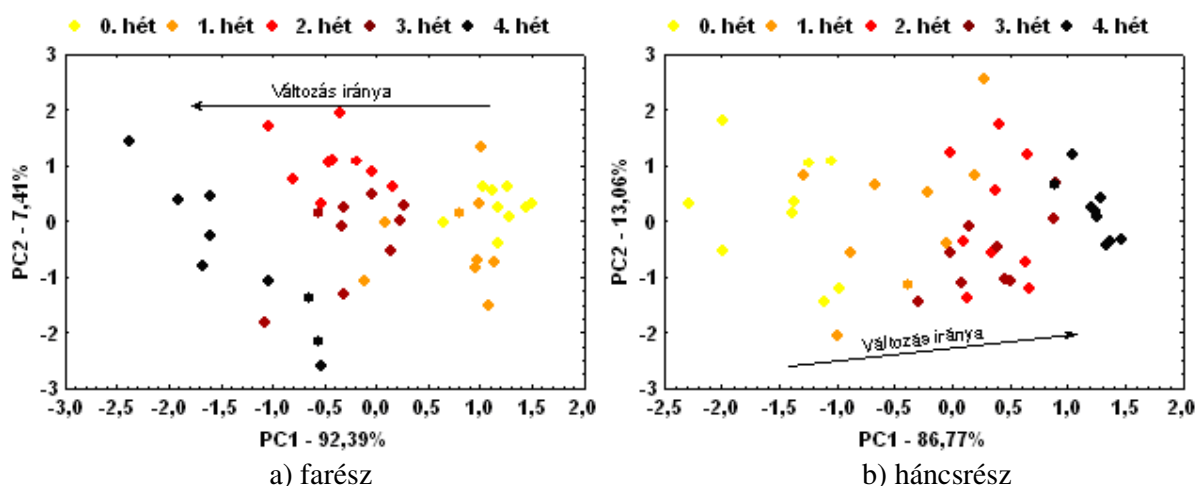
FARÉSZ	csoportba sorolás, %						kereszt-validáció, %					
eredeti csoport	0.hét	1. hét	2. hét	3. hét	4. hét	összesen	0.hét	1. hét	2. hét	3. hét	4. hét	összesen
0.hét	83,33	16,67	0,00	0,00	0,00	83,33	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1. hét	16,67	50,00	0,00	33,33	0,00	50,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2. hét	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	33,33	66,67	0,00	33,33
3. hét	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	33,33	66,67	33,33
4. hét	0,00	0,00	0,00	0,00	83,33	83,33	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
összesen	100,00	66,67	100,00	133,33	83,33	83,33	100,00	100,00	33,33	100,00	166,67	73,33

13. táblázat A hetente mért sárgarépa csoportok diszkriminancia-elemzésének keresztvalidációs táblázata a kúszás-kirugózás teszt paraméterei a háncsrész (F_t/D_{ke} , F_t/D_{max} , E/D_{max} , P/D_{max} és P/E) paraméterei alapján (2010. évi sorozat)

HÁNCRS	csoportba sorolás, %						kereszt-validáció, %					
eredeti csoport	0.hét	1. hét	2. hét	3. hét	4. hét	összesen	0.hét	1. hét	2. hét	3. hét	4. hét	összesen
0.hét	33,33	33,33	0,00	33,33	0,00	33,33	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1. hét	33,33	33,33	0,00	0,00	33,33	33,33	33,33	33,33	16,67	16,67	0,00	33,33
2. hét	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	16,67	83,33	0,00	0,00	83,33
3. hét	0,00	0,00	66,67	33,33	0,00	33,33	0,00	0,00	33,33	66,67	0,00	66,67
4. hét	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
összesen	66,66	66,66	166,67	66,66	133,33	60,00	133,33	50,00	133,33	83,34	100,00	76,67

A 12. és 13. táblázatban bemutatott kereszt-validáció eredménye azt mutatja, hogy a farész esetén a 2. és 3. hét mintái, a háncsrésznél az 1., 2. és 3. hét mintái keveredtek egymással, de összességében a felállított klasszifikációs modell a farész adataival 73,33 %-os, míg a háncsrész adataival 76,67%-os besorolásra képes.

A 43. ábra alapján kiválasztottam azokat a paramétereket, melyeknél a hetente mért csoportok a legjobban elkülönülnek a tárolási idő függvényében. Ennek alapján PCA- és DA-elemzést végeztem csak az F_t/D_{ke} és E/D_{max} paraméterekre, a PCA-elemzés eredményét 41. ábra szemlélteti. Az eredmények azt mutatták, hogy az F_t/D_{ke} , E/D_{max} és P/D_{max} paraméterek alapján is különválnak az egyes mérési csoportok, de a farész esetében nagyobb a minták szórása. Továbbá megjegyzendő, hogy a 2. és 3. heti minták nagymértékben keveredtek egymással. A PCA-elemzés eredményét a farész és háncsrész esetében is megerősítette a DA-elemzés.



43. ábra Főkomponens elemzés (PC1–PC2) a kúszás-kirugózás teszt paraméterei terhelőerő/kúszás előtti deformáció (F_t/D_{ke}), elasztikus deformáció/maximális deformáció (E/D_{max}) és plasztikus deformáció/maximális deformáció (P/D_{max}) alapján a) farész b) háncsrész (2010. évi sorozat)

A csoportok elkülöníthetőségét és a felállított modell robusztusságát a farész és háncsrész mérési eredményeire (háromszoros keresztkorrelációt alkalmazva) a 14. és 15. táblázat szemlélteti.

14. táblázat A hetente mért sárgarépa csoportok diszkriminanciaelemzésének keresztvalidációs táblázata a farész terhelőerő-kúszás előtti deformáció viszony (F_t/D_{ke}) és elasztikus deformáció-maximális deformáció viszony (E/D_{max}) paraméterei alapján (2010. évi sorozat)

FARÉSZ	csoportba sorolás, %						kereszt-validáció, %					
eredeti csoport	0.hét	1. hét	2. hét	3. hét	4. hét	összesen	0.hét	1. hét	2. hét	3. hét	4. hét	összesen
0.hét	83,33	16,67	0,00	0,00	0,00	83,33	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1. hét	16,67	50,00	0,00	33,33	0,00	50,00	33,33	66,67	0,00	0,00	0,00	66,67
2. hét	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	33,33	66,67	0,00	33,33
3. hét	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	66,67	33,33	66,67
4. hét	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
összesen	100,00	66,67	100,00	133,33	100,00	83,33	133,33	66,67	33,33	133,33	133,33	73,33

15. táblázat A hetente mért sárgarépa csoportok diszkriminanciaelemzésének keresztvalidációs táblázata a hánCSRész terhelőerő-kúszás előtti deformáció viszony (F_t/D_{ke}) és elasztikus deformáció-maximális deformáció viszony (E/D_{max}) paraméterei alapján (2010. évi sorozat)

HÁNCS eredeti csoport	csoportba sorolás, %						csoportba sorolás, %					
	0.hét	1. hét	2. hét	3. hét	4. hét	összesen	0.hét	1. hét	2. hét	3. hét	4. hét	összesen
0.hét	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1. hét	33,33	66,67	0,00	0,00	0,00	66,67	0,00	33,33	33,33	33,33	0,00	33,33
2. hét	0,00	0,00	50,00	50,00	0,00	50,00	0,00	33,33	33,33	33,33	0,00	83,33
3. hét	0,00	0,00	33,33	66,67	0,00	66,67	0,00	0,00	0,00	66,67	0,00	66,67
4. hét	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
összesen	133,33	66,66	83,33	116,67	133,33	76,67	100,00	66,67	133,33	83,33	100,00	76,67

A 14. és 15. táblázatban látható kereszt-validáció eredménye azt mutatja, hogy farész és hánCSRész esetében egyaránt az 1., 2. és 3. hét mintái keveredtek egymással, de összességében a felállított klasszifikációs modell farész (14. táblázat) adataival 73,33 %-os, míg a hánCSRész (15. táblázat) adataival 76,67%-os besorolásra képes. Ez pedig azt jelenti, hogy a kúszás-kirugózás teszt összes paraméterével végzett PCA- és DA-analízishez (42. ábra ill. 12. és 13. táblázat) alapvetően hasonló eredményt kaptam, csak a csoportok keveredésének a mértéke tér el kismértékben egymástól, a kiválasztott paraméterekkel (F_t/D_{ke} , E/D_{max} és P/D_{max}) valamivel jobban elkülönülnek a csoportok az idő szerint.

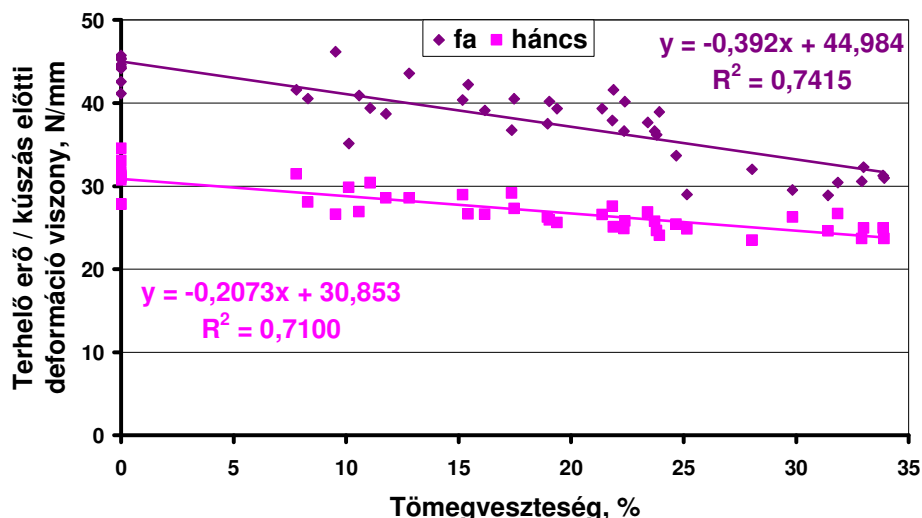
Tömegveszteség

Megvizsgáltam a paraméterek kapcsolatát a tömegveszteséggel, majd regresszióanalízist végeztem a tömeg becslésére minden paraméterre. A paraméterek a tömegveszteséggel lineáris kapcsolatot mutattak. A lineáris kapcsolatot a DW-statisztikával ellenőriztem. A 16. táblázat tartalmazza a Durbin–Watson-értékeket és a determinációs együtthatókat. A kiszámolt DW-értékek mindegyik paraméter esetében az elfogadási tartományba estek, tehát elfogadható volt a lineáris kapcsolat, azonban az F_t/D_{max} esetében gyenge a korreláció, mert az R^2 értéke nem éri el a 0,6-et.

16. táblázat A kúszás-kirugózás teszt számolt paraméterei, Durbin–Watson-értékek és a determinációs együtthatók, Akaike értékek, becslési hibák és a jósolható eltérés arányai tömegveszteség esetén

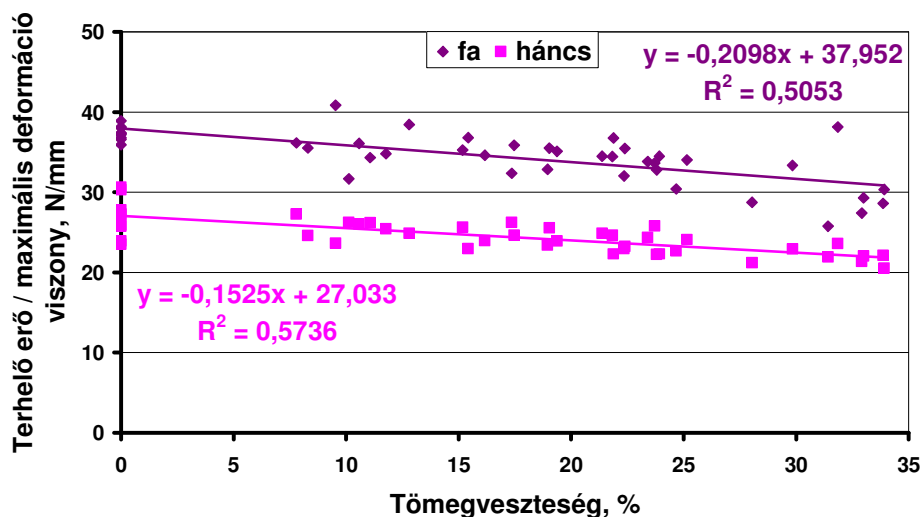
Sárgarépa szövelei	FARÉSZ					HÁNCSRÉSZ				
	DW	R^2	AIC	RMSE	RPD	DW	R^2	AIC	RMSE	RPD
F_t/D_{ke}	1,788	0,7415	87,25	2,521	2,300	2,084	0,7100	37,05	1,444	2,154
F_t/D_{max}	2,006	0,5230	77,45	2,262	1,569	2,353	0,5811	36,32	1,432	1,723
E/D_{max}	1,916	0,7658	-318,7	0,0277	2,319	1,915	0,7241	-332,8	0,0237	2,197
P/D_{max}	1,916	0,7658	-318,7	0,0277	2,319	1,915	0,7241	-332,8	0,0237	2,197
P/E	2,094	0,7149	-241,1	0,0656	2,145	1,957	0,7120	-238,3	0,0677	1,623
DW elfogadási tartomány			DW kritikus d értékek							
DW bizonytalansági tartomány			n=45 k=1 $\alpha=0,05$ 1,475<1,566<DW<2,434<2,525							

A 44. ábrán az F_t/D_{ke} viszony látható a tömegveszteség függvényében. Elfogadható lineáris összefüggést találtam a farész és háncsrész esetében egyaránt. Az F_t/D_{ke} értéke a tömeg csökkenésével csökkent. A háncsrésznél az értékek kisebbek, ez is bizonyítja, hogy a répa vizsgált szövetei, tehát a farésze és a háncsrésze között nagy különbség van.



44. ábra A terhelőerő és kúszás előtti deformáció viszony (F_t/D_{ke}) a tömegveszteség függvényében a sárgarépa farészén és háncsrészén (2010. évi sorozat)

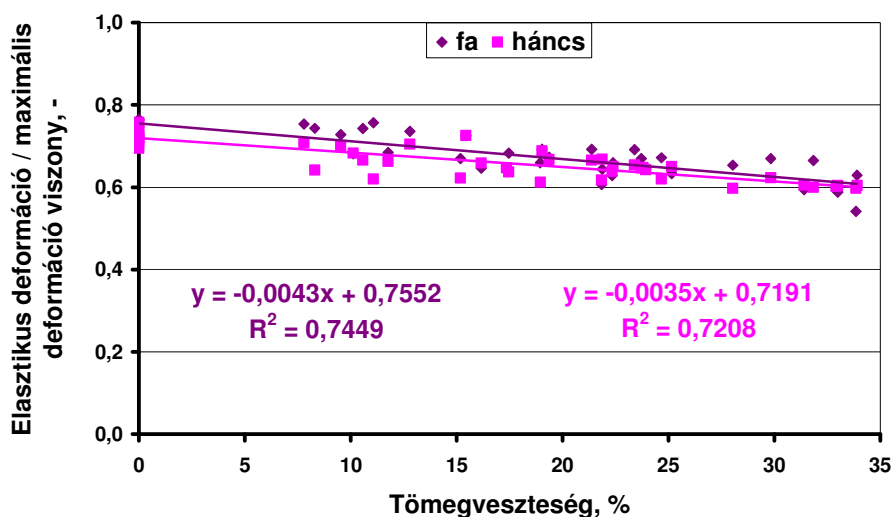
Következő lépésként megnéztem a terhelőerő és maximális deformáció viszonyt a tömegveszteség függvényében (45. ábra). A sárgarépa farészén és háncsrészén mért F_t/D_{max} értékek csökkenést mutattak a tömeg csökkenése során. A háncsrész esetében egyértelműen kisebbek az értékek, mint a farészen. Továbbá megállapítottam, hogy az F_t/D_{max} (46. ábra) csökkenés mértéke kisebb, mint az F_t/D_{ke} (45. ábra) értéké, és az utóbbi esetben az R^2 kis értéke miatt csak nagyon laza a kapcsolat a két mennyiség között.



45. ábra A terhelőerő és a maximális deformáció viszonya (F_t/D_{max}) a tömegveszteség függvényében a sárgarépa farészén és háncsrészén (2010. évi sorozat)

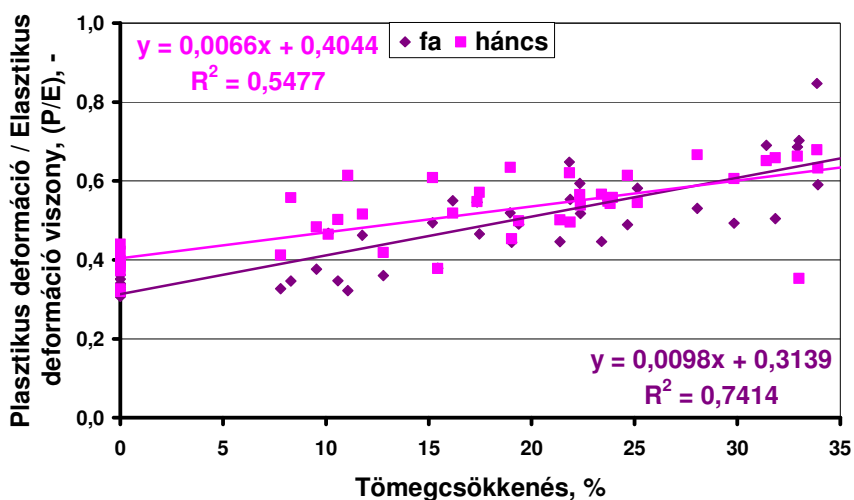
Az elasztikus deformáció a terhelést követő kirugózás után következik be, amikor megszűnik a terhelés. Ennek a deformációnak a mértéke anyagfüggő, minél rugalmatlanabb az anyag, annál kisebb ez az érték, és annál nagyobb a maradó vagy plasztikus deformáció.

Az elasztikus deformáció és a maximális deformáció viszonya (E/D_{\max}) látható a tömegveszteség függvényében a 46. ábrán. Szoros korrelációt találtam a két mennyiség között, a farész és háncsrész E/D_{\max} értékei megközelítőleg azonosak, a tömegveszteség növekedésével értékük csökken, azaz a tárolás során a szövetek egyre jobban elveszítik rugalmasságukat. A farész mintáira illesztett egyenes kissé meredekebb, mint a háncsrészre illesztett.



46. ábra Elasztikus deformáció és maximális deformáció viszonya (E/D_{\max}) a tömegveszteség függvényében a sárgarépa farészén és háncsrészén (2010. évi sorozat)

Az elasztikus deformáció és a plasztikus deformáció összege adja a maximális deformáció értékét. Az E/D_{\max} és P/D_{\max} érték összege 1, ezért a $P/D_{\max} = 1 - E/D_{\max}$. A tömegveszteség függvényében ábrázolva ugyanolyan R^2 értékű, csak ellentétes meredekségű diagramot kapunk. A regresszióelemzés szintén azonos eredményt ad. Azonban érdemes megnézni a plasztikus és az elasztikus deformáció egymáshoz viszonyított arányát. A 47. ábrán látható a plasztikus deformáció és az elasztikus deformáció viszonyaának (P/E) változása a tömegveszteség függvényében.



47. ábra Plasztikus deformáció és elasztikus deformáció viszonya (P/E) a tömegvesztesség függvényében a sárgarépa farészén és háncsrészén (2010. évi sorozat)

A plasztikus deformáció és az elasztikus deformáció viszonyának (P/E) változása a tömegvesztesség függvényében azt mutatja, hogy nagy a minták szórása, de jó korrelációt találtam a farész esetében. A háncsrész esetében csak nagyon laza a kapcsolat. A háncsrész értékei nagyobbak voltak, de a növekedésük a tárolás során lassult a farész mért értékeihez képest. A P/E hányados értékének növekedése azt jelenti, hogy a tömeg csökkenésével a minták egyre kevésbé voltak rugalmasak és egyre nagyobb plasztikus deformációt szenvedtek.

Nedvességtartalom

Megmértem a minták nedvességtartalmát és szárazbázisra vonatkoztattam (kg víz/kg szárazanyag). Megállapítottam, hogy a farész nedvességtartalma nagyobb, mint a háncsrészé. Vizsgáltam a kúszás-kirugózás teszt farészen és háncsrészen mért paraméterek (F_t/D_{ke} , F_t/D_{max} , E/D_{max} , P/D_{max} és P/E) és a szárazbázisra számolt nedvességtartalom közötti kapcsolatot (17. táblázat).

17. táblázat A kúszás-kirugózás teszt számolt paraméterei, Durbin–Watson-értékek és a determinációs együtthatók, Akaike értékek, becslési hibák és a jósolható eltérés arányai szárazbázisra számolt nedvességtartalom esetén

Sárgarépa szöveitei	FARÉSZ					HÁNCSRÉSZ				
	DW	R ²	AIC	RMSE	RPD	DW	R ²	AIC	RMSE	RPD
F_t/D_{ke}	0,967	0,558	111,37	3,297	3,079	0,736	0,472	64,05	1,949	2,326
F_t/D_{max}	0,782	0,460	81,42	2,364	2,211	0,738	0,436	48,92	1,647	2,104
E/D_{max}	1,274	0,632	-302,2	0,0333	2,806	0,953	0,535	-309,8	0,0306	2,714
P/D_{max}	1,274	0,632	-302,2	0,0333	2,806	0,953	0,535	-309,8	0,0306	2,714
P/E	1,222	0,621	-227,5	0,0734	2,687	0,734	0,427	-227,9	0,0761	2,100
DW kritikus d értékek n=45 k=1 α=0,05 1,475<1,566<DW<2,434<2,525										

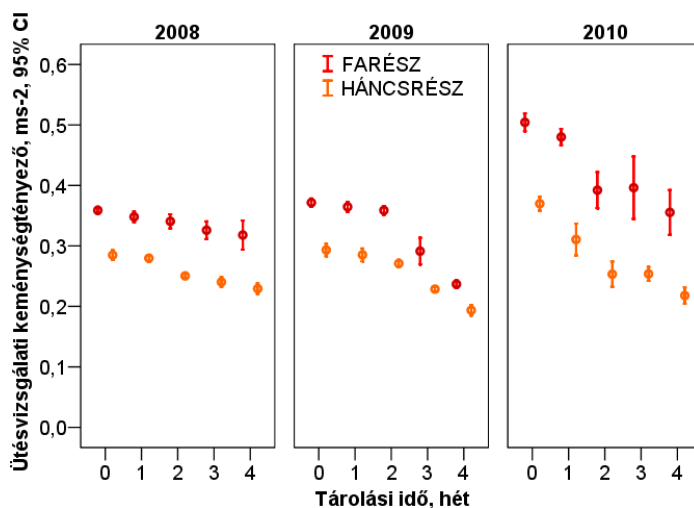
A táblázatból látható, hogy a nedvességtartalommal gyenge kapcsolatot mutattak a paraméterek, ezt megerősítette a DW-érték is, ami minden esetben a bizonytalansági tartományon kívülre esett.

A kúszás-kirugózás teszt (CRT) eredményei szerint az F_t/D_{ke} , F_t/D_{max} , E/D_{max} , P/D_{max} és P/E paraméterek időbeli változásának vizsgálata során a farészre és háncsrészre végzett főkomponensanalízis és a diszkriminanciaelemzés elkülönítette a tárolási idő szerint a csoportokat, de átfedés látható az 1., 2. és 3. hét eredményei között. Mind az összes paraméterre, mind a kiválasztott paraméterekre végzett vizsgálat azonos eredményt adott, csak a csoportok keveredésének a mértéke tér el kissé egymástól. A főkomponenselemzés során az első két főkomponens az összes variancia 93,96%-át (farész) és 97,31%-át (háncsrész) írja le, míg a kiválasztott paraméterek (F_t/D_{ke} és E/D_{max}) esetében ezek az értékek 99,80% (farész) és 99,83% (háncsrész).

A fenti eredmények alapján megállapítom, hogy a kúszás-kirugózás teszt paraméterei közül az F_t/D_{max} és E/D_{max} paraméterekkel modellezhető a keménységváltozás az adott tárolási körülmények mellett (8°C hőmérséklet és 84% relatív páratartalom).

5.3.3.2. Ütésvizsgálati (impact) keménységmérés eredményei

Méréseim során felületi keménység meghatározásához az ütésvizsgálati keménységtényező (D) változását mértem a sárgarépa farészén és háncsrészén. A méréseket a sárgarépa friss vágási felületén végeztem. Próbákat végeztem, hogy a száliránnyal párhuzamosan vagy azzal merőlegesen végezzem-e a méréseket. Azt tapasztaltam, hogy a szálirányra merőleges ütéseknel nagy volt a szórás, ezért a száliránnyal párhuzamos irány mellett döntöttem. Az 48. ábra e paraméter változását szemlélteti a tárolási idő függvényében 95%-os megbízhatósági szinten.



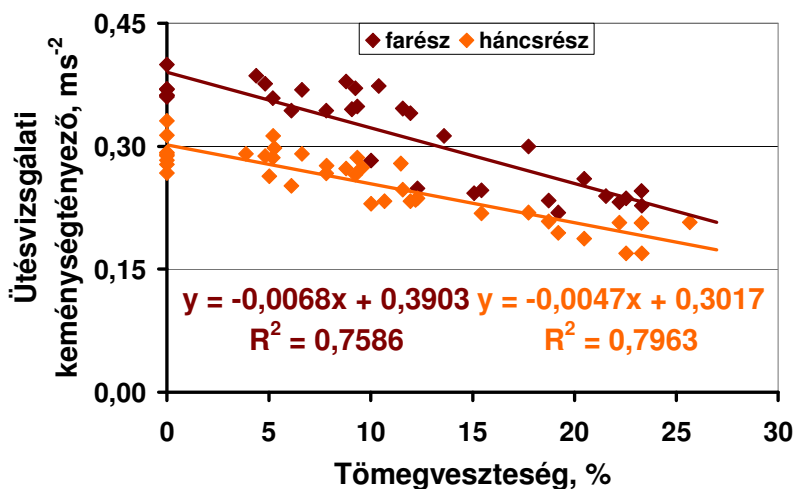
48. ábra Az ütésvizsgálati keménységtényező alakulása a tárolási idő függvényében 95%-os megbízhatósági szint mellett (2008., 2009. és 2010. évi sorozatok)

A 18. táblázat szemlélteti az ütésvizsgálati keménységtényező és a tömegveszteség közötti lineáris kapcsolat DW-statisztika és R^2 -értékeit az egyes sorozatok fa- és háncsrészeire. Megállapítható, hogy a 2009. és 2010. évi sorozatok DW-értékei az elfogadási tartományba esnek, így alátámasztják a lineáris kapcsolatot, míg a 2008. évi sorozat háncsrészen mért tényező értékei alapján a DW-érték csak a bizonytalansági tartományba került. A három év eredményei között nagy eltéréseket találtam, amit a determinációs együttható értékei is mutatnak.

18. táblázat A mérési sorozatok farészének és háncsrészének Durbin–Watson-értékei és a determinációs együtthatói, Akaike értékek, becslési hibák és jósolható eltérések arányai az ütésvizsgálati keménységtényező alapján

Mérési sorozatok	DW kritikus d értékek	FARÉSZ					HÁNCSRÉSZ				
		DW	R^2	AIC	RMSE	RPD	DW	R^2	AIC	RMSE	RPD
2008	n=60 k=1 $\alpha=0,05$ 1,549<1,616<DW<2,384<2,451	2,025	0,2762	-60,59	0,0173	1,185	2,444	0,7154	-77,46	0,0130	2,100
2009	n=60 k=1 $\alpha=0,05$ 1,549<1,616<DW<2,384<2,451	2,279	0,7586	-63,58	0,0263	2,127	2,347	0,7963	-78,19	0,0172	2,584
2010	n=45 k=1 $\alpha=0,05$ 1,475<1,566<DW<2,434<2,525	2,300	0,6521	-284,8	0,0404	2,086	1,654	0,8617	-341,7	0,0215	2,720
DW elfogadási tartomány						DW bizonytalansági tartomány					

Vizsgáltam az ütésvizsgálati keménységtényező változását a tömegveszteség függvényében (49. ábra). Az ábrán a 2009. évi sorozat látható. A mérési pontok elhelyezkedése alapján egyértelmű lineáris összefüggést találtam a paraméterek között. A 2008. évi sorozat farészén mért pontokat ábrázolva az adatok nagy szórása miatt nem találtam kapcsolatot az ütésvizsgálati keménységtényező és a tömegveszteség között. A háncsrészen mért adatok ezzel szemben jó korrelációt mutattak ($R^2 = 0,7154$). A 2009. év eredményét megerősítette a 2010. évi sorozat.



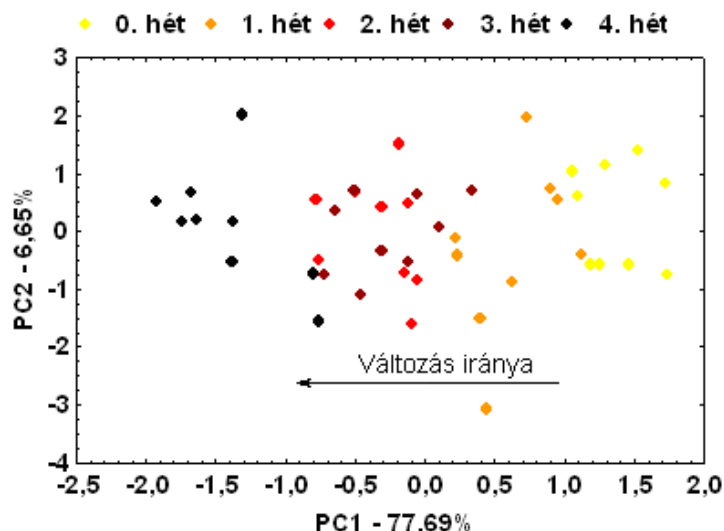
49. ábra Az ütésvizsgálati keménységtényező a tömegveszteség függvényében a farészen és háncsrészen (2009. évi sorozat)

Az eredmények nagy szórása miatt nem lehetséges egyetlen közös lineáris modellt alkotni. Mivel a sárgarépák mindhárom sorozat esetén azonos körülmények között voltak tárolva, és a mintaelőkészítés is minden alkalommal azonos volt, így a sárgarépa csoportok inhomogén összetétele okozhatott ilyen mértékű eltéréseket a sorozatok között. A mérésekkel az egyes sárgarépaszövetek szétválasztására törekedtem, azonban az irodalomból is kiderült, hogy sem a farész, sem a háncsrész nem 100%-ban homogén szövet, mert mindkettőben fellelhetők a másik szövettípus sejtjei is. Így megerősíthető az a feltételezés, hogy az ütésvizsgálati keménységtényező és a tömegvesztesség között lineárisan közelíthető kapcsolat van a mind a farész, mind a háncsrész esetében.

5.3.4. Az egyes mintacsoportok megkülönböztetése a kvázistatikus és dinamikus keménységmérés eredményei alapján

Kvázistatikus módszer paramétereinek együttes hatása

A kvázistatikus és dinamikus vizsgálatok eredményei alapján tanulmányoztam, hogyan lehet megkülönböztetni a különböző heteken mért mintacsoportokat. Felmerült a kérdés, hogy a hagyományos keménységmérési módszerrel meghatározott vágási és rugalmassági paraméterek együtt miként viselkednek. Ezért főkomponens-elemzést és diszkriminanciaanalízist végeztem. A vágási keménységvizsgálat két paraméterének (F_v/D_v és M_{DK}/M_K), valamint a kúszás-kirugózás teszt során meghatározott öt paraméter (F_t/D_{ke} , F_t/D_{max} , E/D_{max} , P/D_{max} , P/E) együttes hatásának PCA elemzését a 50. ábra szemlélteti.



50. ábra Főkomponenselemzés (PC1-PC2) a vágási erő/vágási deformáció (F_v/D_v), dekompressziós munka/kompressziós munka hányadosa (M_{DK}/M_K), terhelőerő/kúszás előtti deformáció (F_t/D_{ke}), terhelőerő/maximális deformáció (F_t/D_{max}), elasztikus deformáció/maximális deformáció (E/D_{max}), plasztikus deformáció/maximális deformáció (P/D_{max}), valamint a plasztikus deformáció/elasztikus deformáció (P/E) viszonya alapján (2010. évi sorozat)

Az ábrából megállapítható, hogy az első két főkomponens a variancia alig több, mint 84%-át adja. Az első főkomponens mentén a csoportok elhelyezkedésének sorrendje megfelel a tárolási idő szerinti besorolásnak, de a 2. és 3. hét átfedést mutat. Ez az átfedés a második főkomponens mentén is tapasztalható. Ez a jelenség a tömegveszteség során is tapasztalható volt. Az említett eredményeket a DA is alátámasztotta (19. táblázat), ahol az egyes csoportok kisebb szórást mutattak a PCA-eredményéhez képest.

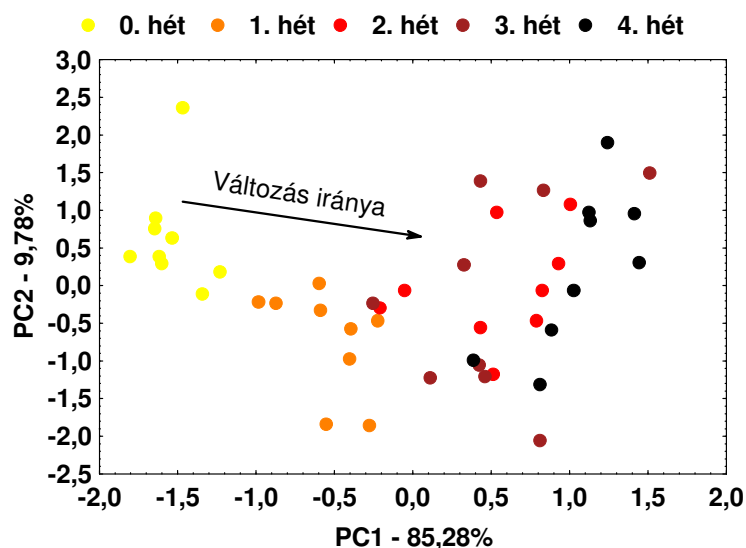
19. táblázat A különböző időpontokban mért sárgarépa csoportok diszkriminanciaelemzésének keresztvalidációs táblázata a vágási keménységvizsgálat (F_v/D_v és M_{DK}/M_K) és a kúszás-kirugózás teszt paraméterei (F_t/D_{ke} , F_t/D_{max} , E/D_{max} , P/D_{max} , P/E) alapján (2010. évi sorozat)

eredeti csoport	csoportba sorolás, %						kereszt-validáció, %					
	0.hét	1. hét	2. hét	3. hét	4. hét	összesen	0.hét	1. hét	2. hét	3. hét	4. hét	összesen
0.hét	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	66,67	33,33	0,00	0,00	0,00	66,67
1. hét	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	33,33	66,67	0,00	0,00	0,00	66,67
2. hét	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	66,67	33,33	0,00	66,67
3. hét	0,00	0,00	16,67	83,33	0,00	83,33	0,00	33,33	66,67	0,00	0,00	0,00
4. hét	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
összesen	100,00	100,00	116,67	83,33	100,00	96,67	100,00	133,33	133,34	33,33	100,00	60,00

A kereszt-validáció eredménye azt mutatja, hogy a 0. hét az 1. hét mintáival, a 2. hét a 3. hét mintáival részben keveredett, de a felállított klasszifikációs modell mindösszesen csak 60,00 %-os besorolásra képes.

Dinamikus módszer paramétereinek együttes hatása

Következő lépésként az alkalmazott dinamikus keménységmérési módszerek ütésvizsgálati keménységtényező és akusztikus keménységtényező paramétereit vizsgáltam. Megállapítottam, hogy a főkomponens-elemzés (51. ábra) során az első főkomponens a variancia több, mint 85%-át adta. Az eredmények azt mutatták, hogy a minták között az első főkomponens mentén elkülönülés van, kivéve a 2. hét és a 3. hét esetét, amelyek átfedést mutattak. A minták szórása nagynak bizonyult, és az átfedést mutató két csoportot a második főkomponens sem választotta külön egymástól. A DA-analízis eredménye megerősítette a PCA-eredményét. A csoportok elkülöníthetősége keresztvalidációval a 20. táblázatban látható.



51. ábra Főkomponenselemzés (PC1-PC2) az akusztikus keménységtényező, valamint a farész és háncsrész ütésvizsgálati keménységtényezője alapján (2010. évi sorozat)

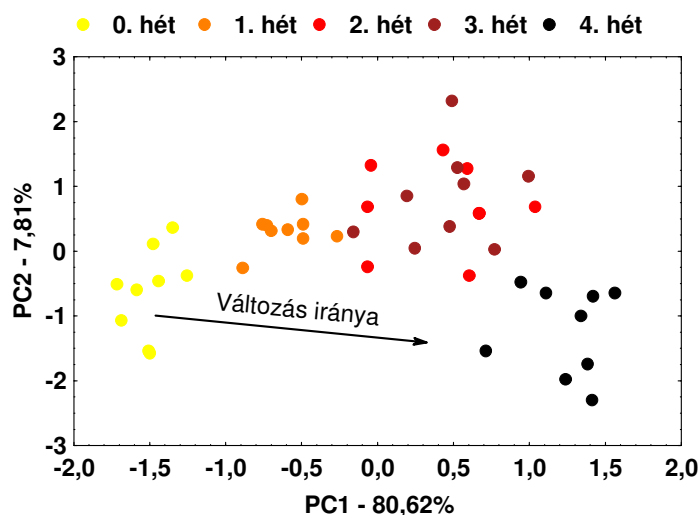
20. táblázat A különböző heteken mért csoportok diszkriminanciaelemzésének keresztvalidációs táblázata az akusztikus keménységtényező, valamint a farész és háncsrész ütésvizsgálati keménységtényezője alapján (2010. évi sorozat)

eredeti csoport	csoportba sorolás, %						kereszt-validáció, %					
	0.hét	1. hét	2. hét	3. hét	4. hét	összesen	0.hét	1. hét	2. hét	3. hét	4. hét	összesen
0.hét	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1. hét	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2. hét	0,00	0,00	33,33	16,67	50,00	33,33	0,00	66,67	0,00	33,33	0,00	0,00
3. hét	0,00	0,00	0,00	66,67	13,33	66,67	0,00	0,00	66,67	33,33	0,00	33,33
4. hét	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	33,33	66,67	66,67
összesen	100,00	100,00	33,33	83,34	163,33	80,00	100,00	166,67	66,67	99,99	66,67	60,00

A csoportba sorolás 80%-ban volt sikeres, mert a 2. és 3. csoport keveredett és a 3. hét csoportjából a 4. hétbe is kerültek pontok. A keresztvalidáció során a 2. hét mintái az 1. és 3. hétre kerültek át, valamint a 3. és 4. hét mintái is részben 1-1 héttel korábbi csoportba kerültek. A felállított klasszifikációs modell csak 60%-os besorolására volt képes.

Kvázistatikus és dinamikus módszer paramétereinek együttes elemzése

Megvizsgáltam az akusztikus, az ütésvizsgálati dinamikus keménységmérési és a vágási keménységvizsgálat eredményeit. A főkomponens-elemzés (52. ábra) megmutatta a 2. és 3. hét között átfedést, valamint azt, hogy a tárolási idő során a csoporton belüli szórás a tárolási idővel nő. Az első két főkomponens a variancia több, mint 88%-át mutatta.



52. ábra Főkomponenselemzés (PC1-PC2) az akusztikus keménységtényező, az ütésvizsgálati keménységtényező, a vágási erő/vágási deformáció (F_v/D_v) és dekompressziós munka/kompressziós munka hányadosa (M_{DK}/M_K) alapján (2010. évi sorozat)

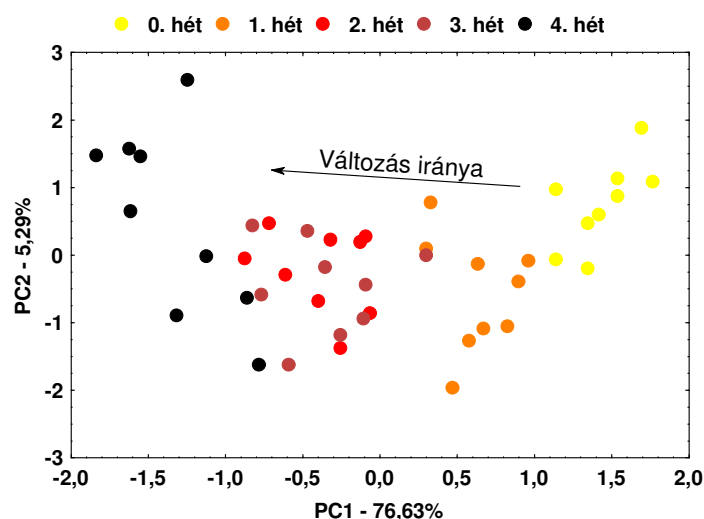
A DA-analízis megerősítette a PCA-eredményt, a 21. táblázat a dinamikus keménységvizsgálati paraméterekre (ütésvizsgálati és akusztikus keménységtényező) és vágási keménységvizsgálati paraméterekre (F_v/D_v és M_{DK}/M_K) elvégzett DA elemzés során a csoportba sorolást és a keresztvalidációt tartalmazza.

21. táblázat A különböző heteken mért csoportok diszkriminanciaelemzésének keresztvalidációs táblázata az ütésvizsgálati és akusztikus keménységtényező, valamint a vágási keménységvizsgálat eredményei (F_v/D_v és M_{DK}/M_K) alapján (2010. évi sorozat)

eredeti csoport	csoportba sorolás, %						kereszt-validáció, %					
	0.hét	1. hét	2. hét	3. hét	4. hét	összesen	0.hét	1. hét	2. hét	3. hét	4. hét	összesen
0.hét	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1. hét	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2. hét	0,00	0,00	83,33	16,67	0,00	83,33	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00
3. hét	0,00	0,00	16,67	83,33	0,00	83,33	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
4. hét	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
összesen	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	93,33	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	60,00

A csoportba sorolásnál a 2. és 3. hét eredményei keveredtek egymással azonos százalékban. A keresztkorreláció eredménye már rosszabb, itt a 2. és 3. hét csoportjai teljes mértékben felcserélődtek, a klasszifikációs modell pedig csak 60%-ban sorolta be helyesen a csoportokat.

Az ütésvizsgálati és akusztikus keménységtényezőt a kúszás-kirugózás teszt paramétereivel (F_t/D_{ke} , F_t/D_{max} , E/D_{max} , P/D_{max} , P/E) együtt is elemeztem. Az első főkomponens szerint csak a 0. és 4. hét különül el egyértelműen (53. ábra), és az 1., 2. és 3. hét eredményei keverednek. A DA megerősítette a PCA-eredményét. A csoportok elkülöníthetősége a 22. táblázatban látható.



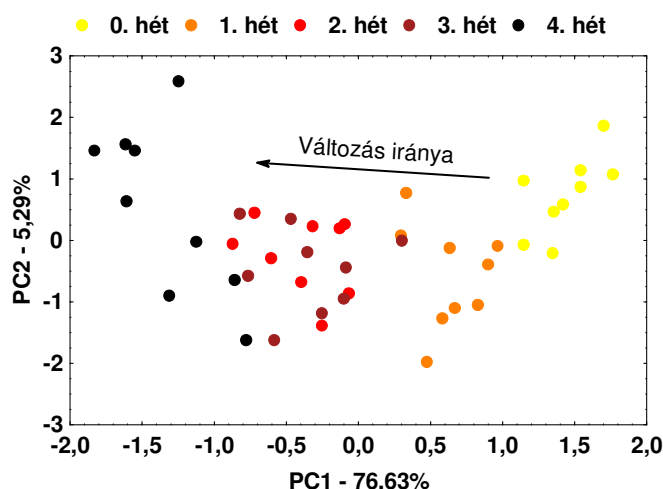
53. ábra Főkomponenselemzés (PC1-PC2) az ütésvizsgálati és akusztikus keménységtényező, valamint terhelőerő/kúszás előtti deformáció (F_t/D_{ke}) terhelőerő/maximális deformáció (F_t/D_{max}) elasztikus deformáció/maximális deformáció (E/D_{max}) plasztikus deformáció/maximális deformáció (P/D_{max}) plasztikus deformáció/elasztikus deformáció (P/E) alapján (2010. évi sorozat)

22. táblázat A különböző heteken mért csoportok diszkriminanciaelemzésének keresztvalidációs táblázata az ütésvizsgálati és akusztikus keménységtényező és a kúszás-kirugózás teszt paramétereire (F_t/D_{ke} , F_t/D_{max} , E/D_{max} , P/D_{max} , P/E) alapján (2010. évi sorozat)

eredeti csoport	csoportba sorolás, %						kereszt-validáció, %					
	0.hét	1. hét	2. hét	3. hét	4. hét	összesen	0.hét	1. hét	2. hét	3. hét	4. hét	összesen
0.hét	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	66,67	33,33	0,00	0,00	0,00	66,67
1. hét	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2. hét	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
3. hét	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	33,33	66,67	0,00	66,67
4. hét	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
összesen	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	66,67	133,33	133,33	66,67	100,00	86,67

A táblázat szerint a csoportba sorolás 100%-osan sikerült, a keresztvalidációnál azonban a 0. és 1. hét, valamint a 2. és 3. hét keveredett egymással, és ennek következtében a klasszifikációs modell csak 86,67%-os besorolásra volt képes.

A hagyományos és dinamikus módszerek paramétereinek együttes vizsgálata során megnéztem az ütésvizsgálati és akusztikus keménységtényező, vágási keménységvizsgálat és a kúszás-kirugózás teszt összes paramétereinek együttes hatását főkomponens-elemzés és diszkriminanciaanalízis alkalmazásával. A 54. ábrán a PCA-elemzés a 2. és 3. hét átfedését mutatja és igen nagy a 4. hét szórása. A csoportok elhelyezkedése a tárolásnak megfelelő sorrendű. A DA nem támasztotta alá a PCA eredményét, mert ugyan a csoportba sorolás hibátlanak bizonyult, a kereszt-validációval azonban csak 80%-ban sikerült a besorolás, a 0. és 1. hét, valamint a 2. és 3. hét csoportjai keveredtek egymással (23. táblázat).



54. ábra Főkomponenselemzés (PC1-PC2) az ütésvizsgálati és akusztikus keménységtényező, a vágási erő/vágási deformáció (F_v/D_v) és dekompressziós munka/kompressziós munka hányadosa (M_{DK}/M_K), valamint terhelőerő/kúszás előtti deformáció (F_t/D_{ke}) terhelőerő/maximális deformáció (F_t/D_{max}) elasztikus deformáció/maximális deformáció (E/D_{max}) plasztikus deformáció/maximális deformáció (P/D_{max}) plasztikus deformáció/elasztikus deformáció (P/E) alapján (2010. évi sorozat)

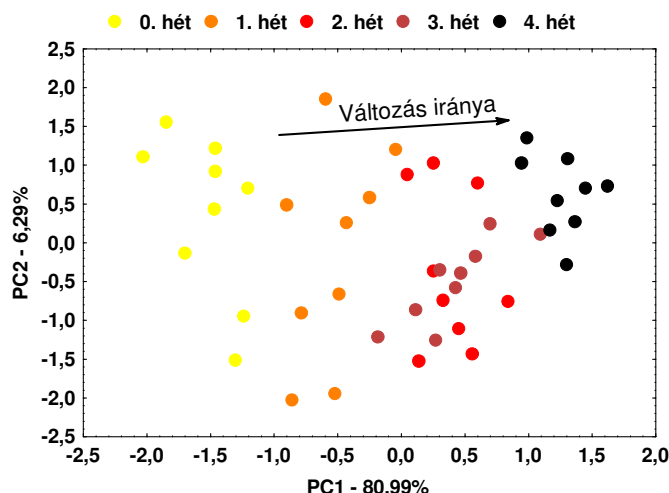
23. táblázat A különböző heteken mért csoportok diszkriminanciaelemzésének keresztvalidációs táblázata az ütésvizsgálati és akusztikus keménységtényező, a vágási keménységvizsgálat (F_v/D_v és M_{DK}/M_K) és kúszás-kirugózás teszt (F_t/D_{ke} , F_t/D_{max} , E/D_{max} , P/D_{max} , P/E) paramétereire alapján (2010. évi sorozat)

eredeti csoport	csoportba sorolás, %						kereszt-validáció, %					
	0.hét	1. hét	2. hét	3. hét	4. hét	összesen	0.hét	1. hét	2. hét	3. hét	4. hét	összesen
0.hét	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	66,67	33,33	0,00	0,00	0,00	66,67
1. hét	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	33,33	66,67	0,00	0,00	0,00	66,67
2. hét	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	66,67	33,33	0,00	66,67
3. hét	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	100,00
4. hét	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
összesen	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	66,67	133,33	100,00	80,00

A korábban bemutatott eredmények ismeretében, figyelembe véve az egyes paraméterek tömegveszteséggel való kapcsolatát, a dinamikai keménységvizsgálati módszer paramétereire közül az akusztikus keménységtényező (S) jobb eredményt adott, mint az ütésvizsgálati keménységtényező (D). A kvázistatikus módszerek közül a vágás paramétereire közül a vágási erő és vágási deformáció hányados (F_v/D_v) bizonyult jobbnak. A kúszás-kirugózás teszt paramétereire közül pedig a terhelőerő és kúszás előtti deformáció hányadosa (F_t/D_{ke}), valamint az elasztikus deformáció és maximális deformáció hányadosa (E/D_{max}) adta a legjobb eredményeket.

Ezen eredmények alapján összehasonlítottam az összes paraméterrel és a kiválasztott paraméterekkel elvégzett PCA- és DA-elemzést. A 54. ábrán bemutatott PCA-elemzés eredményét összehasonlítva a 55. ábra PCA eredményével, megállapítottam, hogy a csoportok az utóbbi esetben jobban elkülönülnek, és egyértelműbb a 2. és 3. héten mért csoportok közötti kismértékű

különbség. Látható továbbá, hogy kisebb a csoportokon belüli szórás is a kiválasztott paraméterek esetében. A DA-elemzés alátámasztotta az eredményeket, a keresztvalidáció az összes paraméterrel 80%-ban sikerült (23. táblázat), míg a kiválasztott paraméterekkel 93,33%-ban bizonyult sikeresnek (24. táblázat).



55. ábra Főkomponenselemzés (PC1-PC2) az akusztikus keménységtényező, vágási erő/vágási deformáció (F_v/D_v), a terhelőerő/kúszás előtti deformáció (F_t/D_{ke}), elasztikus deformáció/maximális deformáció (E/D_{max}) paraméterei alapján (2010. évi sorozat)

24. táblázat A különböző heteken mért csoportok diszkriminanciaelemzésének keresztvalidációs táblázata az akusztikus keménységtényező, a vágási keménységvizsgálat F_v/D_v , a kúszás-kirugózás teszt F_t/D_{ke} és E/D_{max} paraméterei alapján (2010. évi sorozat)

eredeti csoport	csoportba sorolás, %						kereszt-validáció, %					
	0.hét	1. hét	2. hét	3. hét	4. hét	összesen	0.hét	1. hét	2. hét	3. hét	4. hét	összesen
0.hét	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1. hét	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	66,67	0,00	33,33	0,00	66,67
2. hét	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
3. hét	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	100,00
4. hét	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
összesen	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	66,67	100,00	133,33	100,00	93,33

A kvázistatikus és dinamikus módszer paraméterei közötti kapcsolat

Vizsgáltam a dinamikai és kvázistatikus keménységvizsgálatok során mért paraméterek közötti kapcsolatot is. Mivel a dinamikai keménységvizsgálatokhoz nagyon gyakran referenciamódszerként választják a kvázistatikus keménységmeghatározást, ezért az akusztikus keménységtényező (globális keménységről ad információt) és ütésvizsgálati keménységtényező (felületi keménységről ad információt) kapcsolatát az alábbi paraméterekkel vizsgáltam:

- Akusztikus keménységtényező kapcsolata a vágás paramétereivel:
 - Vágási erő és vágási deformáció viszony (F_v/D_v),
 - Dekompressziós munka és kompressziós munka viszonya (M_{DK}/M_K),

- Ütésvizsgálati (impact) keménységtényező kapcsolata a kúszás-kirugózás teszt legjobb paramétereivel:
 - Terhelőerő és kúszás előtti deformáció viszonya (F_t/D_{ke}),
 - Elasztikus deformáció és maximális deformáció viszonya (E/D_{max}).

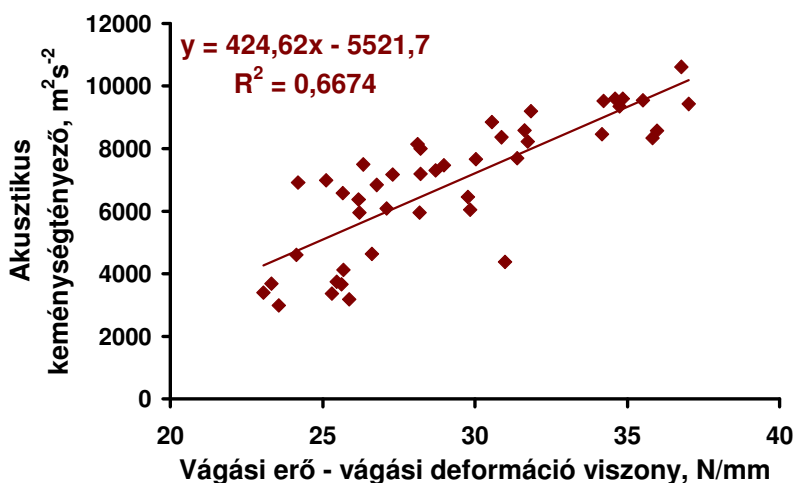
A paraméterek közötti kapcsolatot tehát úgy vizsgáltam, hogy figyelembe vettem, melyik paraméterrel vizsgáltam a szöveteket együtt, és melyikkel külön-külön a farész és a háncsrész.

Megvizsgáltam a fenti paraméterek közötti kapcsolatokat és DW-statisztikával vizsgáltam az adatok autokorrelációját. A 25. táblázat tartalmazza a DW-statisztika értékeket az elfogadási tartománnyal, valamint a determinációs együtthatókat. A zöld színnel jelölt kapcsolatok DW-értéke az elfogadási tartományban volt, és a determinációs együttható értéke 0,6 körüli.

25. táblázat A kvázistatikus és dinamikus keménységmérési paraméterek közötti kapcsolat értékei, Durbin–Watson értékek és a determinációs együtthatók

Kvázistatikus keménységtényezők	Akusztikus keménységtényező		Ütésvizsgálati keménységtényező - farész		Ütésvizsgálati keménységtényező - háncsrész	
	DW	R ²	DW	R ²	DW	R ²
F_v/D_v	1,775	0,667				
M_{DK}/M_K	1,611	0,669				
F_t/D_{ke} - farész			1,840	0,645		
F_t/D_{ke} - háncsrész					1,672	0,595
E/D_{max} - farész			2,338	0,713		
E/D_{max} - háncsrész					1,565	0,642
DW elfogadási tartomány			n=45 k=1 $\alpha=0,05$			
DW bizonytalansági tartomány			DW kritikus d értékek 1,475<1,566<DW<2,434<2,525			

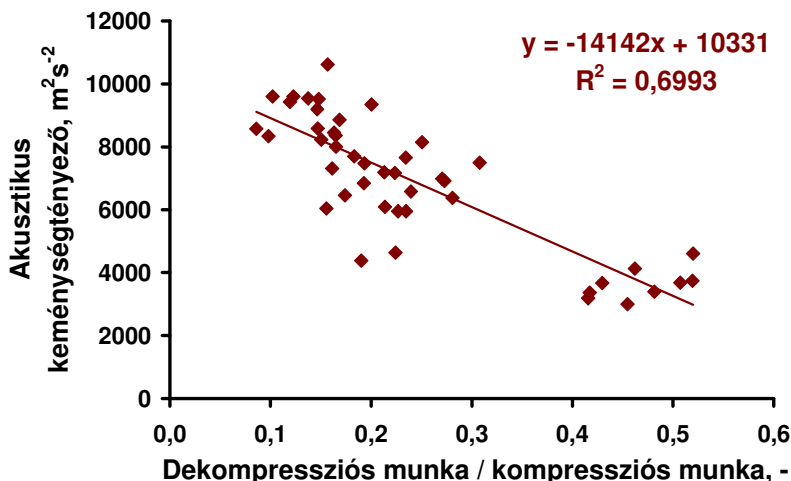
A következő ábrákon az egyes kapcsolatok láthatóak. Az 56. ábrán az akusztikus keménységtényező látható a vágási erő és vágási deformáció viszony függvényében..



56. ábra Akusztikus keménységtényező a vágási erő és vágási deformáció viszony (F_v/D_v) függvényében (2010. évi sorozat)

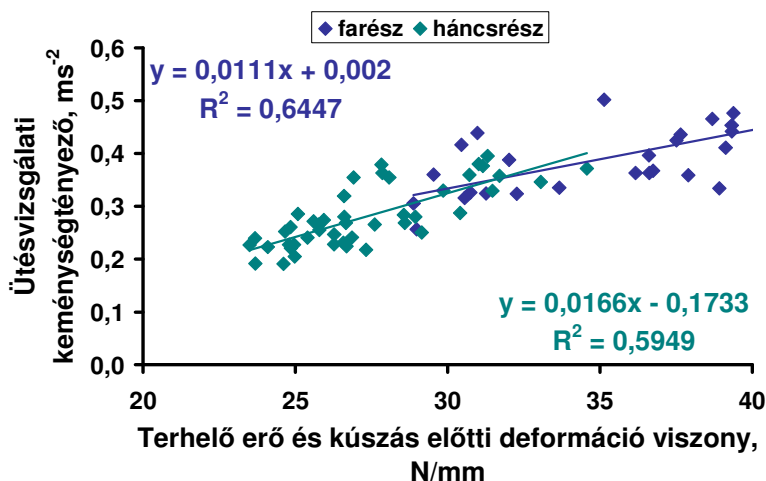
Az ábrán jól látszik, hogy elfogadható kapcsolat van az akusztikus keménységtényező, valamint a vágási erő és vágási deformáció viszonya (F_v/D_v) között.

Az 57. ábrán az akusztikus keménységtényező látható a dekompressziós munka és kompressziós munka viszonya (M_{DK}/M_K) függvényében, ahol a korreláció elfogadható.



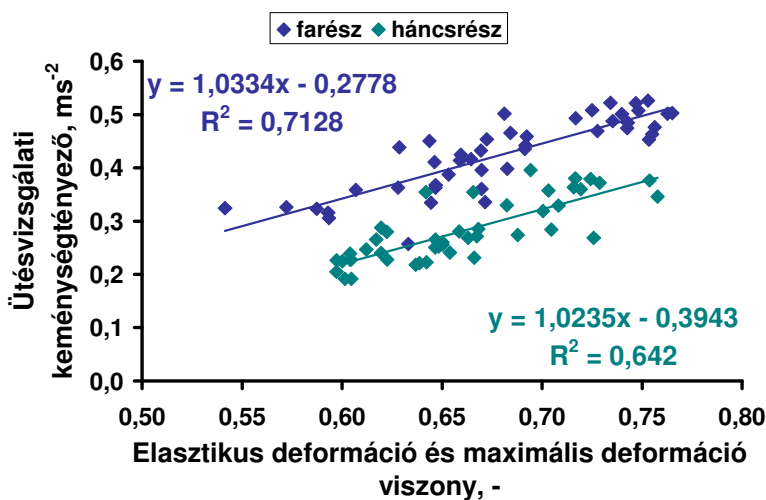
57. ábra Akusztikus keménységtényező a dekompressziós munka és kompressziós munka viszonya (M_{DK}/M_K) függvényében (2010. évi sorozat)

Az 58. ábrán az ütésvizsgálati keménységtényező látható a terhelőerő és kúszás előtti deformáció viszony (F_t/D_{ke}) paraméter függvényében. Megállapítottam, hogy a farész és háncsrész ütésvizsgálati keménységében nincs számottevő különbség. Az ütésvizsgálati tényező esetében a farész és háncsrész kapcsolata a terhelőerő és kúszás előtti deformáció viszonyával (F_t/D_{ke}) elfogadható ill. laza.



58. ábra Ütésvizsgálati keménységtényező a terhelőerő és a kúszás előtti deformáció viszony (F_t/D_{ke}) függvényében a farész és háncsrész kockák mérése alapján (2010. évi sorozat)

Az 59. ábrán az ütésvizsgálati keménységtényező az elasztikus deformáció és maximális deformáció viszony (E/D_{\max}) függvényében látható. Elfogadható kapcsolatot találtam az akusztikus keménységtényező, valamint az ütésvizsgálati tényező és az (E/D_{\max}) paraméter között.



59. ábra Ütésvizsgálati keménységtényező a elasztikus deformáció és maximális deformáció viszony (E/D_{\max}) függvényében a farész és háncsrész kockák mérése alapján (2010. évi sorozat)

Megállapítottam, hogy a vizsgált tárolási körülmények között van kapcsolat a kvázistatikus és dinamikai keménységmérés eredményei között, a vizsgált paraméterek kapcsolata összességében elfogadható.

A kvázistatikus és dinamikus keménységmérés során sikerült kiválasztanom azokat a paramétereket, melyeknek a meghatározásával a legjobban szétválaszthatók az egyes mérési csoportok a tárolási kísérlet során (hőmérséklet 8°C , relatív páratartalom 84%). Ezek a kiválasztott paraméterek az alábbiak voltak:

- akusztikus keménységtényező,
- a vágási erő/vágási deformáció viszony (F_v/D_v),
- a terhelőerő/kúszás előtti deformáció viszony, valamint
- elasztikus deformáció/maximális deformáció viszonya voltak.

Elfogadható kapcsolatot sikerült találnom az akusztikus keménységtényező valamint az F_v/D_v és M_{DK}/M_K paraméter között 0–35%-os tömegveszteségi tartományban. Továbbá elfogadható kapcsolatot sikerült találnom az ütésvizsgálati keménységtényező valamint az F_t/D_{ke} és E/D_{\max} paraméterek között 0–35%-os tömegveszteségi tartományban. Megjegyzendő azonban, hogy a mért paraméterek eredményei nagy szórásokat mutattak.

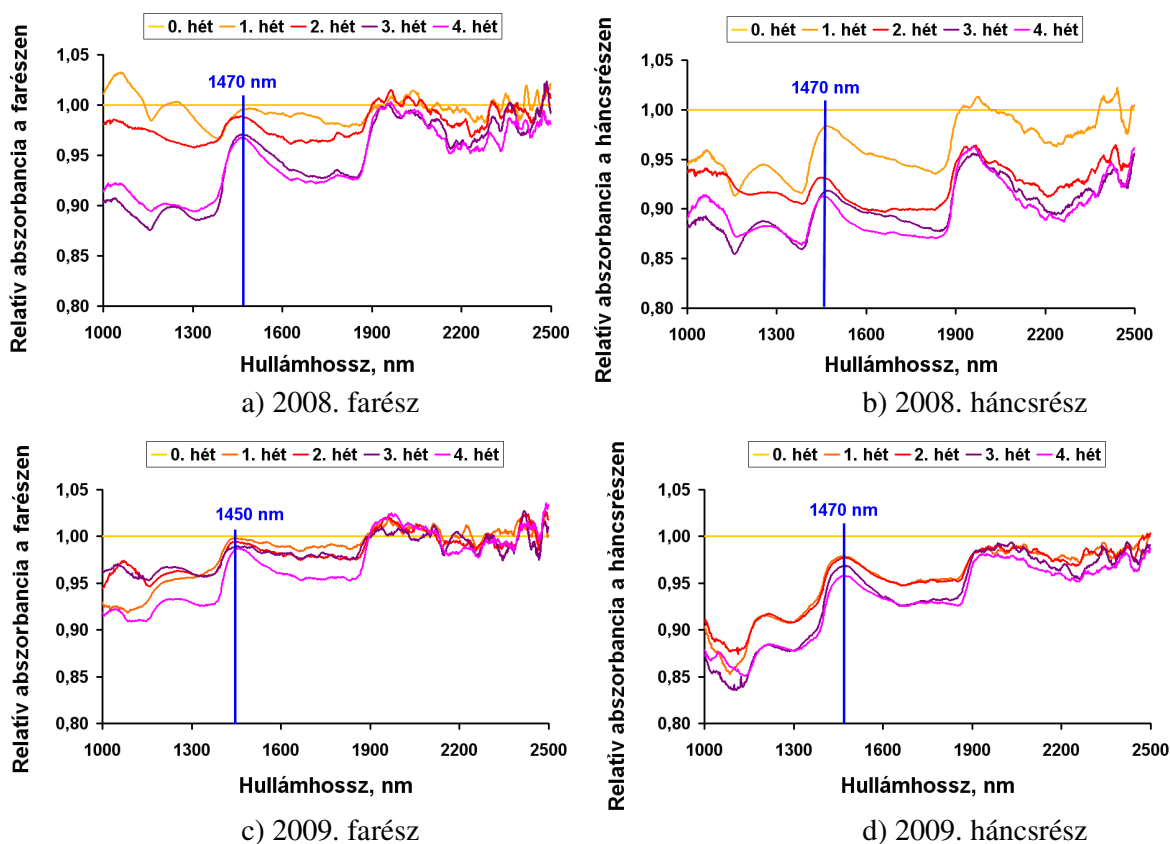
5.4. Sárgarépa optikai jellemzői

5.4.1. Nedvességtartalom vizsgálata NIR tartományban

Két egymást követő évben, 2008-ban és 2009-ben a sárgarépa farészén és háncsrészén közeli infravörös tartományban (NIR) az abszorbanciát mértem. A NIR tartományban a termények, élelmiszerek beltartalmi jellemzőiről kaphatunk információt. Az abszorpciós spektrumban megjelenő csúcserőterek valamilyen beltartalmi jellemzőre utalnak.

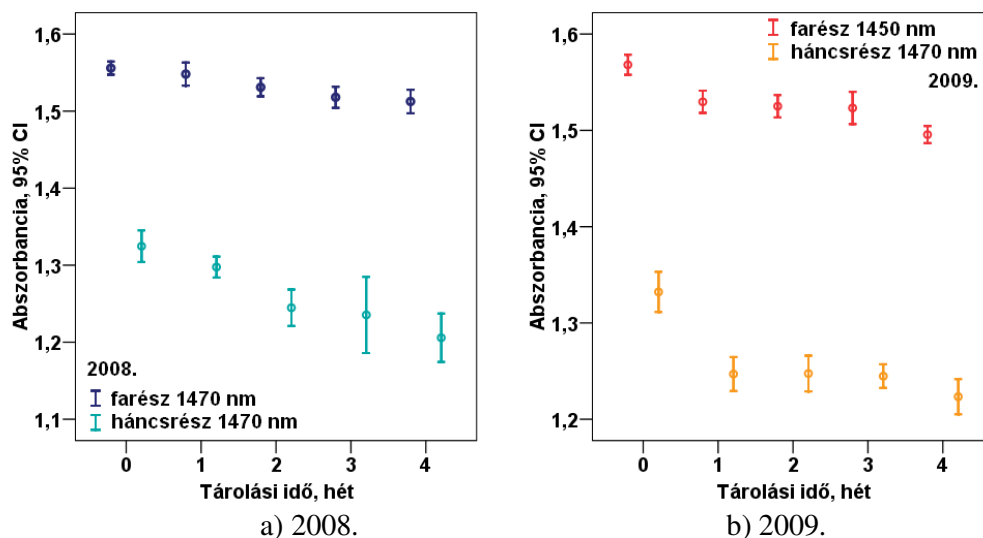
A vízcsúcsok helyét a vizsgált minta hőmérsékletén kívül befolyásolhatják a vizsgálat anyag tulajdonságai, beltartalmi jellemzői, melynek következtében a domináns hullámhosszok eltolódhatnak.

A kapott spektrumból kiválasztottam azt a hullámhosszértéket, ahol a nedvesség abszorpciós csúcsa jelen volt. Ezt úgy értem el, hogy a spektrumoknak a relatív változását néztem meg, azaz minden heti spektrumot elosztottam a 0. hét spektrumával. Így kaptam a 60. ábrát. A 2008. évi sorozatnál a farész és háncsrész esetén egyaránt 1470 nm-nél volt a vízcsúcs. A „B” sorozat mérésénél a farész esetében 1450 nm-nél, a háncsrész esetében 1470 nm-nél találtam meg a vízcsúcsot. A spektrumok relatív abszorbanciája a tárolási idő növekedésével csökkenő jeleget mutatott, és a tárolási időnek megfelelő sorrendet mutatta a farész és háncsrész esetében is.



60. ábra Sárgarépa farészén és háncsrészén mért abszorpció (2008. és 2009. évi sorozatok) a) 2008. farész b) 2008. háncsrész c) 2009. farész d) 2009. háncsrész

A kiválasztott spektrumból 1450 ± 10 nm és 1470 ± 10 nm abszorpciós tartományt használtam fel a további vizsgálatokhoz. Először megnéztem, van-e szignifikáns különbség az egyes hetek mérései között (61. ábra).



61. ábra Abszorbanca a tömegvesztés függvényében a sárgarépa farészén és háncsrészén (2008. és 2009. évi sorozatok)

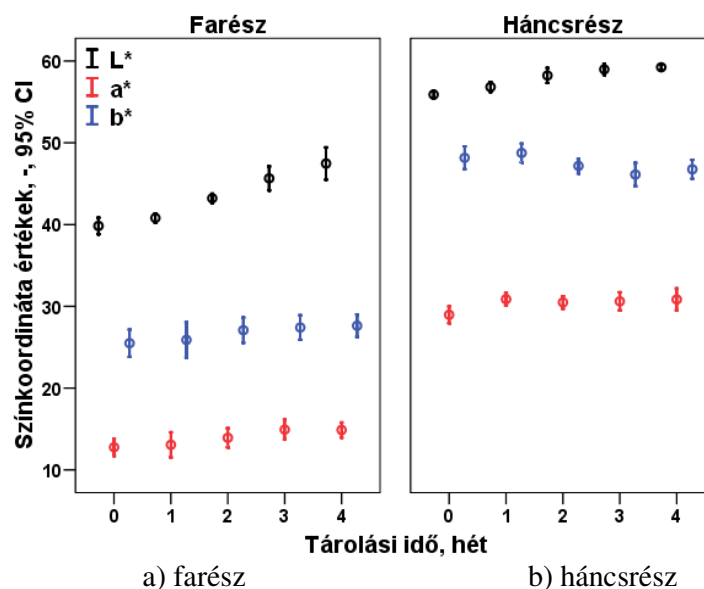
Az ábrán látható, hogy a 2009. évi sorozat esetében 0. hét különbözik szignifikánsan a többitől, továbbá az összes csoportnál viszonylag kicsi a minták szórása. Megállapítottam, hogy az abszorbanca értéke csökkent mindkét sorozat esetében.

A nedvességtartalomról kaphatunk információt a NIR spektrumból, de azt tapasztaltam, hogy a nedvességtartalomnak nagyon nagy volt a szórása, ezért ebből nem lehet további következtetést levonni.

A NIR mérés eredmény alapján azonban különbséget lehet tenni a sárgarépa farésze és háncsrésze között, mivel nagyobb abszorbanca értékeket mutat a farész. Továbbá sikerült a nedvességtartalomra utaló abszorbanca csúcsot megtalálni 1450 és 1470 nm-nél.

5.4.2. Színmérés eredményei

A szín mérése során a CIE $L^*a^*b^*$ színjellemzőket határoztam meg. A 62. ábrán a színjellemzők változása a tárolási idő függvényében látható. Megállapítottam, hogy az L^* (világossági tényező) értéke folyamatos növekedést mutat az idő múlásával, míg az a^* (vörös-zöld színínger jellemző) és a b^* (kék-sárga színínger jellemző) hetenkénti értékek között nem látható szignifikáns különbség a tárolás folyamán, valamint azt, hogy a minták szórása az L^* esetén a legkisebb. Ez alapján a továbbiakban csak az L^* tényezőre összpontosítottam, és megnéztem milyen összefüggés van az L^* és a tömegvesztés között (63. ábra).



62. ábra A CIE L*a*b* színjellemzők a tárolási idő függvényében (95%-os CI mellett) a) sárgarépa farészén és b) háncsrészén (2008. évi sorozat)

A színparaméterek kapcsolatát vizsgálva a tömegveszteséggel, megállapítottam, hogy csak az L* értéke mutatott kapcsolatot vele, és az összefüggés lineárisnak bizonyult. A lineáris összefüggést alátámasztandó megnéztem a DW-statisztika értékeit, melyeket 26. táblázat szemléltet. Ennek alapján a lineáris összefüggés elfogadható, azzal a megjegyzéssel, hogy a 2008. évi sorozat háncsrészére a DW-statisztika a bizonytalansági tartományon kívüli értéket adott. A 2009. évi sorozat megerősítette az eredményt, azonban csak elfogadható kapcsolatot mutatott.

26. táblázat A Durbin–Watson statisztika értékei és a determinációs együtthatók a farész és háncsrész világossági tényező alapján

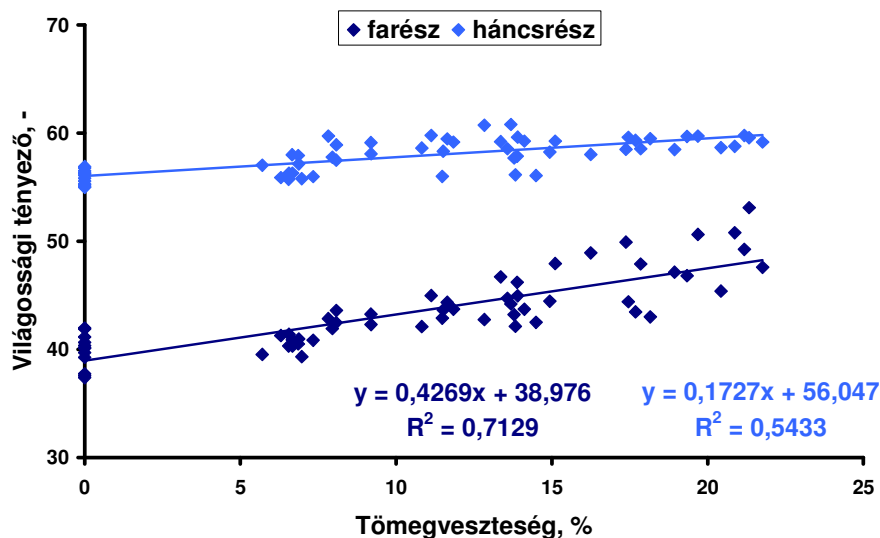
Mérési sorozatok	DW elfogadási tartomány	farész		háncsrész	
		DW	R ²	DW	R ²
2008	n=60 k=1 α=0,05 1,549<1,616<DW<2,384<2,451	1,884	0,713	1,050	0,543
2009	n=60 k=1 α=0,05 1,549<1,616<DW<2,384<2,451	2,379	0,571	2,306	0,568
DW elfogadási tartomány		DW bizonytalansági tartomány			

Habár nem mutatott számottevő változást a tárolás folyamán az a* és b* értéke, megnéztem a tömegveszteséggel való kapcsolatukat (27. táblázat). Az eredmények megerősítették, hogy az illesztett egyenes meredeksége sem a farész, sem a háncsrész esetében nem különbözik szignifikánsan 0-tól, így nem bizonyítható, hogy az a* vagy a b* függene a tömegveszteségtől.

27. táblázat A Durbin–Watson statisztika értékei és a determinációs együtthatók a farész és háncsrész vörös-zöld és kék-sárga színinger-koordinátái alapján

Mérési sorozatok	DW kritikus d értékek	farész				háncsrész			
		a*		b*		a*		b*	
		DW	R ²	DW	R ²	DW	R ²	DW	R ²
2008	n=60 k=1 α=0,05 1,549<1,616<DW<2,384<2,451	2,162	0,173	2,164	0,093	1,784	0,105	2,150	0,120
2009	n=60 k=1 α=0,05 1,549<1,616<DW<2,384<2,451	1,432	0,039	1,351	0,023	2,081	0,285	1,884	0,112

A 63. ábrán látható, hogy a világossági tényező értéke mindkét sorozat esetében lineárisan közelíthető összefüggést mutatott a tömegveszteséggel. A farész L* értéke nagyobbak bizonyult, a háncsrészéhez képest. A változás tendenciája a farész és háncsrész esetében megegyezett. A korreláció azonban csak elfogadható.



63. ábra Világossági tényező a tömegveszteség függvényében a sárgarépa farészén és háncsrészén (2008. évi sorozat)

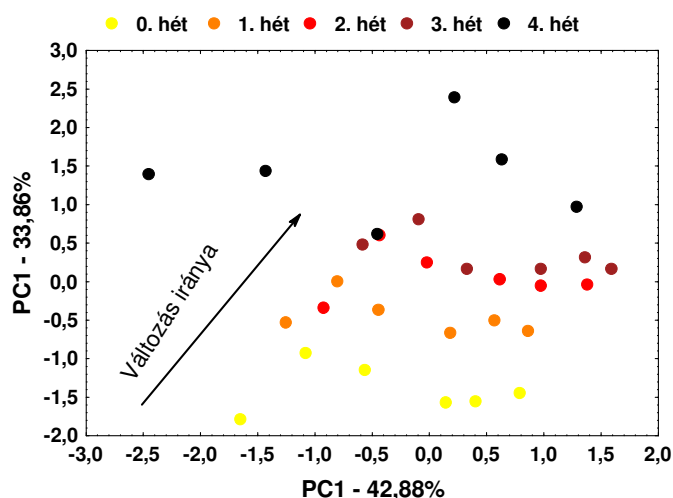
Színmérés eredményeit összefoglalva elmondható, hogy a CIE L*a*b* színjellemzők közül a világossági tényező (L*) értéke lineárisan közelíthető kapcsolatot mutat a tömegveszteséggel, azonban nem szoros ez az összefüggés.

5.5. Sárgarépa ízjellemzőinek vizsgálata

Az ízjellemzőket két módszerrel vizsgáltam. Az egyik az elektronikus nyelv, amely objektív eredményt nyújt, másik az érzékszervi bírálat, amely alapvetően szubjektív vizsgálati módszer.

5.5.1. Elektronikus nyelv mérési eredményei

Az elektronikus nyelvvel (ET) nyert eredményekkel PCA- és DA-elemzést végeztem. Az 64. ábra megmutatja a sárgarépalé-oldatokon végzett mérések főkomponens-analízisének eredményét.



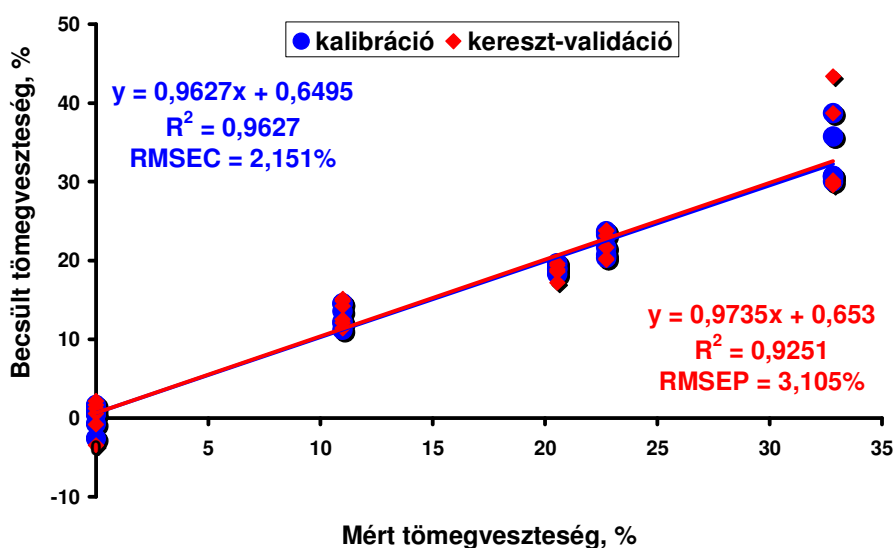
64. ábra A sárgarépalé-minták diszkriminanciaanalízise (Root1-Root2) az elektronikus nyelv eredményei alapján (2010. évi sorozat)

Az első két változó leírja az összes variancia 76,74%-át, és a 2. és 3. héten mért minták hasonló átfedést mutatnak, mint a kvázistatikus és dinamikus módszereknél. A mért csoportok itt a tárolási időnek megfelelő sorrendben különülnek el. A 28. táblázat a DA elemzés keresztvalidációs eredményeit tartalmazza, melyből kiderül, hogy a csoportba sorolás 100%-os volt, de a keresztvalidációnál a klasszifikációs modell csak 80%-ban sorolta be helyesen a csoportokat.

28. táblázat A hetente mért sárgarépa csoportok diszkriminanciaelemzésének keresztvalidációs táblázata az elektronikus nyelv adatai alapján (2008. évi sorozat)

eredeti csoport	csoportba sorolás, %						kereszt-validáció, %					
	0.hét	1. hét	2. hét	3. hét	4. hét	összesen	0.hét	1. hét	2. hét	3. hét	4. hét	összesen
0.hét	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1. hét	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2. hét	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	50,00	50,00	0,00	50,00
3. hét	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	100,00
4. hét	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	50,00	50,00	50,00
összesen	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	66,67	100,00	133,33	100,00	80,00

Az elektronikus nyelv eredményeiből PLS-regresszióval becsültem a tömegveszteséget (65. ábra). Az ábra tartalmazza a modellépítést, a modellt, valamint a LOO-keresztvalidáció paramétereit. Nagyon szoros korrelációt mutatott a becslés, igen kis becslési hibával.



65. ábra Tömegvesztés becslése PLS-regresszióval az elektronikus nyelv eredményei alapján (2010. évi sorozat)

A 29. táblázat szemlélteti a sorozatok esetén a tömegvesztés becslésének eredményét, melyből kiderül, hogy a 2010. évben szoros, míg a másik két évben jó korrelációval sikerült a tömegvesztés becslése.

29. táblázat PLS-kalibráció és keresztkorreláció az elektronikus nyelv mérési eredményeiből

Mérési sorozatok	LV	kalibráció				kereszt-validáció				
		r^1	SEC ²	RMSEC ³	Bias ⁴	r^1	R ²	SEP ⁵	RMSEP ⁶	Bias ⁴
2008	3	0,8613	3,757	3,681	-2,956e-6	0,8097	0,6556	4,342	4,256	-0,125
2009	5	0,8994	4,731	4,635	2,056e-5	0,8147	0,6637	6,362	6,235	-0,1428
2010	4	0,9812	2,188	2,151	5,245e-6	0,9618	0,9250	3,152	3,105	0,1909

¹Korrelációs koefficiens; ²kalibráció standard hibája; ³kalibráció becslési hibája; ⁴módszeres különbség a becslült és mért értékek között; ⁵keresztvalidáció standard hibája; ⁶keresztvalidáció becslési hibája; LV: látens változó

Az elektronikus nyelvvel végzett mérések eredményei alapján megállapítható, hogy a PCA- és a DA-értékelések a tárolási idő szerinti sorrendben különítették el a mért csoportokat. A 66. ábrán bemutatott eredményekből következően sikerült a tömegvesztést becsülni az elektronikus nyelvvel végzett mérések eredményeiből.

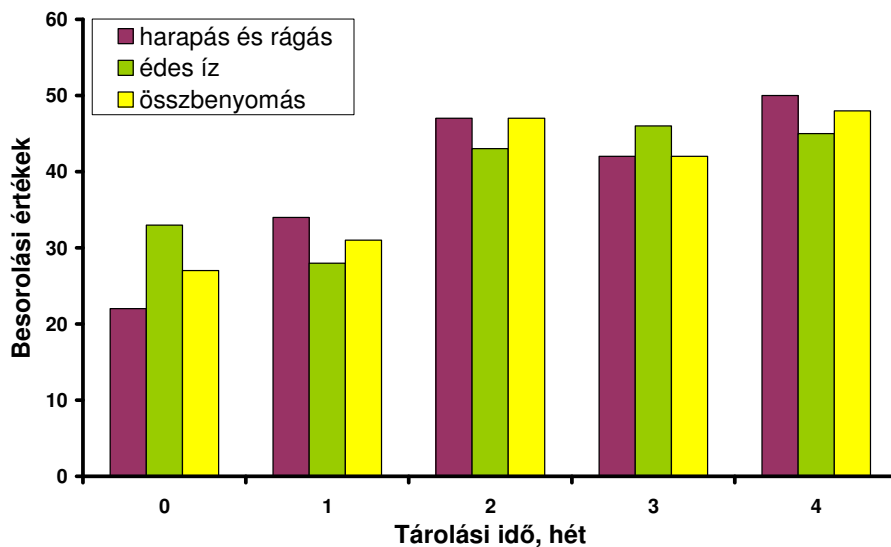
5.5.2. Érzékszervi bírálat eredményei

Klaszteranalízis segítségével a megkérdezett 16 betanított bíráló közül 13 bírálót választottam ki. A 30. táblázat mutatja az érzékszervi sorrend eredményét a kiválasztott bírálók alapján, valamint a Page-teszt eredményét.

30. táblázat A minták jellemzése érzékszervi sorrend (összeg) és a Page-teszt eredménye (P)

Tulajdonságok	0. hét	1. hét	2. hét	3. hét	4. hét	P
„jó illat”	38	39	42	30	46	-
„narancsszín-intenzitás”	42	28	33	47	45	-
„harapás és rágás”	22	34	47	42	50	0,01
„édes íz”	33	28	43	46	45	0,01
„keserű íz”	34	33	42	48	38	-
„összbenyomás”	27	31	47	42	48	0,01
	0	1	2	3	4	

A Page-próba értéke a hetenként adott rangszám összegekből számítható ki. Ezt a számított értéket össze kell vetni egy, a táblázatban szereplő kritikus értékkel. Ha a számított érték nagyobb a kritikus értéknél vagy egyenlő vele, akkor az adott szignifikancia szinten a bírálók által felállított rangsor összhangban áll a minták eredetileg feltételezett rangsorával, vagyis nem különbözik szignifikánsan. Így a Page-teszt eredményei alapján a bírálók 99%-os szignifikancia szint mellett a tárolási hetekkel azonos sorrendet találtak a „harapás és rágás”, „édes íz” és „összbenyomás” tulajdonságok esetében. A Page-teszt megmutatja, hogy a korábban létrehozott sorozat a tárolási idő függvényében (26. ábra) érvényes volt-e a három tulajdonság esetében. A 66. ábra szemlélteti az érzékszervi értékelés besorolási pontszámait a tárolási idő függvényében a Page-teszt alapján szignifikáns sorrendű tulajdonságokra.



66. ábra Page-teszt alapján a szignifikáns érzékszervi tulajdonságok a tárolási idő függvényében (2010. évi sorozat)

5.5.3. Érzékszervi tulajdonságok becslése

A Page-teszt eredményei (30. táblázat) szignifikáns sorrendet mutattak a „harapás és rágás”, „édes íz” és „összbenyomás” érzékszervi tulajdonságokra. Ezért becslésre használtam fel ezeket a tulajdonságokat. A 31. táblázat szemlélteti a kalibrációt és keresztvalidációt a sárgarépa minták

érzékszervi paramétereire a mechanikai vizsgálat és elektronikus nyelv mérések alapján.

Mechanikai módszerekkel és elektronikus nyelvvel végzett mérés eredményeivel PLS-regresszióval becsültem az érzékszervi tulajdonságokat. A „harapás és rágás” tulajdonságot az akusztikus keménységtényező, a vágási keménységvizsgálat F_v/D_v , a kúszás-kirugózás teszt F_t/D_{ke} és E/D_{max} paramétereivel becsültem. A keresztvalidáció korrelációja ($R^2 = 0,9500$) alapján szoros korreláció van a becsült és mért változók között.

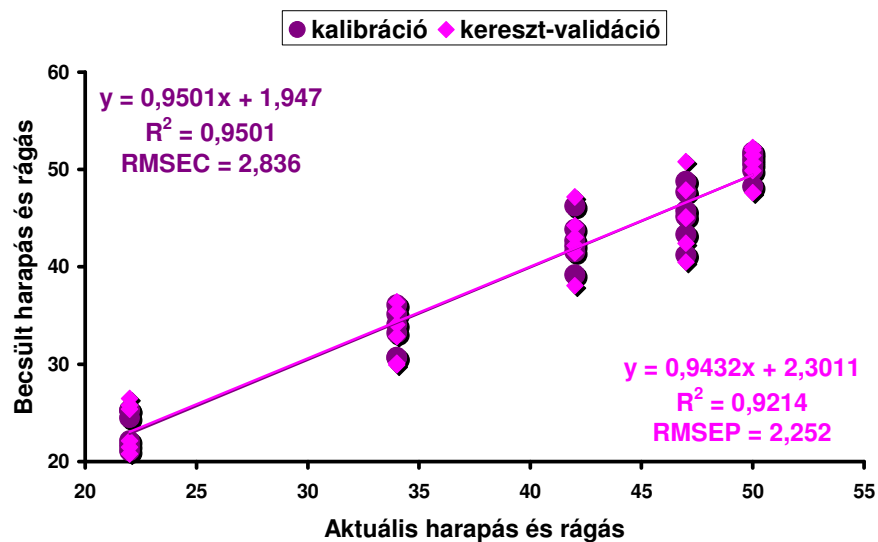
Az „édes íz” tulajdonságot az elektronikus nyelv eredményeiből becsültem. A becslés a keresztvalidációra szoros korrelációt ($R^2 = 0,9025$) adott és kis becslési hibát (2,32). Az „összbenyomás” tulajdonságot az akusztikus keménységtényezőből, a vágási keménységvizsgálat F_v/D_v , a kúszás-kirugózás teszt F_t/D_{ke} és E/D_{max} paramétereiből és az elektronikus nyelv eredményéből becsültem. A keresztvalidáció korrelációs koefficiense ($R^2 = 0,8668$) és a becslési hiba (3,185) megerősítették az illesztés jóságát.

31. táblázat PLS-kalibráció és keresztkorreláció a sárgarépa minták érzékszervi tulajdonságaira az akusztikus keménységtényező, a vágási erő és vágási deformáció viszony, terhelőerő és kúszás előtti deformáció viszony, elasztikus deformáció és maximális deformáció viszony és az elektronikus nyelv eredményei alapján

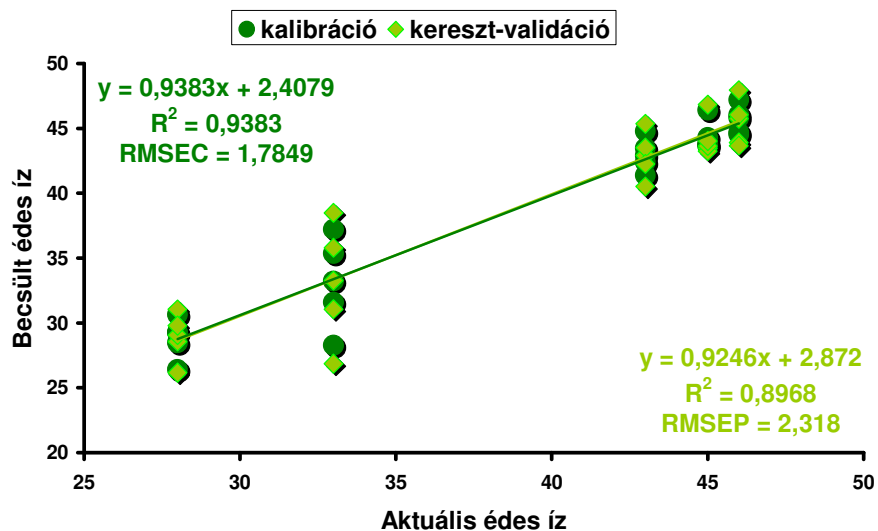
Érzékszervi paraméter	LV (szám)	kalibráció				keresztvalidáció				
		r^1	SEC ²	RMSEC ³	Bias ⁴	r^1	R^2	SEP ⁵	RMSEP ⁶	Bias ⁴
Harapás és rágás ^A	6	0,96	2,88	2,84	0,08447	0,97	0,95	2,29	2,25	-2,098e-6
Édes íz ^B	4	0,97	1,82	1,78	-5,37e-5	0,95	0,90	2,36	2,32	-0,067
Összbenyomás ^C	13	0,98	1,69	1,66	4,62e-6	0,93	0,86	3,19	3,14	-0,215

¹Korrelációs koefficiens; ²kalibráció standard hibája; ³kalibráció becslési hibája; ⁴módszeres különbség a becsült és mért értékek között; ⁵keresztvalidáció standard hibája; ⁶keresztvalidáció becslési hibája. ^Abecslés az akusztikus keménységtényező, vágási erő/vágási deformáció, terhelőerő/kúszás előtti deformáció, elasztikus deformáció/maximális deformáció eredményei alapján. ^Bbecslés az elektronikus nyelv eredményei alapján. ^Cbecslés az akusztikus keménységtényező, vágási erő/vágási deformáció, terhelőerő/kúszás előtti deformáció, elasztikus deformáció/maximális deformáció és elektronikus nyelv eredményei alapján. LV: látens változó

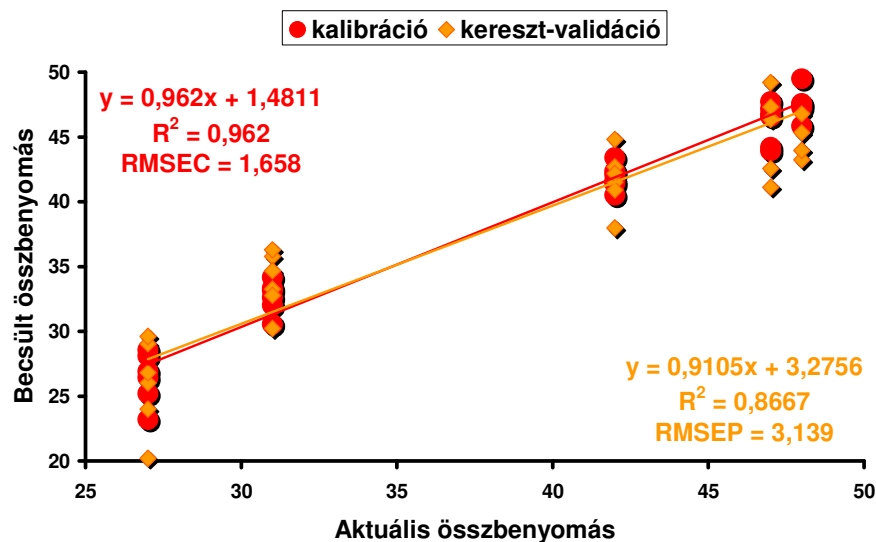
A 67., 68. és 69. ábrán az egyes érzékszervi tulajdonságok, mint a „harapás és rágás”, az „édes íz” és „összbenyomás” becslésének eredményei láthatóak. Az ábrák tartalmazzák a modellépítést és a LOO-keresztvalidáció paramétereit.



67. ábra A „harapás és rágás” érzékszervi tulajdonság becslése PLS regresszióval a vágási erő és vágási deformáció viszony (F_v/D_v), a terhelőerő és kúszás előtti deformáció viszony (F_t/D_{ke}), az elasztikus deformáció és maximális deformáció viszony (E/D_{max}) és az akusztikus keménységtényező eredmények alapján



68. ábra Az „édes íz” érzékszervi tulajdonság becslése PLS regresszióval az elektronikus nyelv eredmények alapján



69. ábra Az „összbemérés” érzékszervi tulajdonság becslése PLS regresszióval a vágási erő/vágási deformáció viszony (F_v/D_v), a terhelőerő/kúszás előtti deformáció viszony (F_t/D_{ke}), az elasztikus deformáció/maximális deformáció viszony (E/D_{max}), az akusztikus keménységtényező és az elektronikus nyelv eredmények alapján

Az érzékszervi vizsgálat során az érzékszervi tulajdonságok közül a „harapás és rágás”, az „édes íz” és az „összbemérés” mutatott szignifikáns hasonlóságot a tárolás során felállított, a bírálók által nem ismert rangsorral. A kapott eredményeket becslésre felhasználva megállapítottam, hogy ezek a tulajdonságok jó eredménnyel becsülhetők az adott érzékszervi tulajdonságot vizsgáló fizikai módszer paraméterével. Mindhárom érzékszervi tulajdonság becslése szoros korrelációt és kis becslési hibát mutatott.

5.6. Új eredmények

1. A 8°C-on, 84%-os relatív páratartalmú térben tárolt, sárgarépa tömegvesztését figyelembe véve a 4 hetes tárolás alatt, megállapítottam, hogy a 2. hét után a tömegvesztés üteme lassult, majd a 3. hetet követően felgyorsult. Megközelítőleg 10%-ig tekinthető elfogadhatónak a tömegvesztés, amely megközelítőleg a 2. hétre tehető. Ezt igazolták a

- vágási erő/vágási deformáció (F_v/D_v),
- dekompressziós munka/ kompressziós munka hányados (M_{DK}/M_K),
- akusztikus keménységtényező (S),
- ütésvizsgálati (impact) keménységtényező (D),
- terhelőerő/kúszás előtti deformáció (F_t/D_{ke}),
- terhelőerő/maximális deformáció (F_t/D_{max}),
- elasztikus deformáció/maximális deformáció (E/D_{max}),
- plasztikus deformáció/maximális deformáció (P/D_{max}),

- plasztikus deformáció/elasztikus deformáció (P/E) paraméterek és az
 - érzékszervi tulajdonságok közül
 - a harapás és rágás, valamint
 - az összbenyomás értékei.
2. A tárolás során mért paraméterekkel végzett főkomponenselemzés során megállapítottam, hogy a hetente mért csoportok sorrendje minden esetben megegyezett a tárolási hetek sorrendjével. Továbbá megállapítottam, hogy a 0. és 4. heti minták között határozottan elkülönültek a többi hét mintáitól, amit a mérési eredmények alapján kiválasztott legjobb paraméterek
- akusztikus keménységtényező,
 - vágási erő / vágási deformáció (F_v/D_v),
 - terhelőerő / kúszás előtti deformáció (F_t/D_{ke}), és
 - elasztikus deformáció / maximális deformáció (E/D_{max}) paraméterek együttesen, valamint az
 - elektronikus nyelv eredményei
- igazolnak. Ezzel szemben az 1., 2. és 3. heti minták ugyanakkor megkülönböztethetőek
- akusztikus keménységtényező,
 - vágási erő / vágási deformáció (F_v/D_v),
 - terhelőerő / kúszás előtti deformáció (F_t/D_{ke}), és
 - elasztikus deformáció / maximális deformáció (E/D_{max})
- paraméterek együttes hatása szerint.

6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

2008., 2009. és 2010. évben betakarított Nanti fajtatípusú, Nevis fajtájú sárgarépaakat nem ideális körülmények között, $8,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$ -on és $84 \pm 2\%$ -os páratartalom mellett 4 héten keresztül tároltam. Ilyen feltételek mellett vizsgáltam a minták mechanikai, optikai és ízjellemzőinek változását. Ezek eredményeként a következő összefüggéseket állapítottam meg:

1. Szoros lineáris összefüggést állapítottam meg a vágási keménységvizsgálat során meghatározott vágási erő/vágási deformáció viszony és a tömegveszteség között, amelyet a következők jellemeztek: determinációs együttható értéke $R^2_{2008} = 0,852$, a becslési hiba értéke $\text{RMSE}_{2008} = 2,684 \text{ N/mm}$. Az évekre közösen illesztett modell determinációs együttható értéke $R^2 = 0,827$, a becslés hibája pedig $\text{RMSE} = 2,140 \text{ N/mm}$.
2. Jó exponenciális összefüggést állapítottam meg a vágási keménységvizsgálat során meghatározott dekompressziós munka/kompressziós munka hányados és a tömegveszteség között, amelyet a következők jellemeztek: determinációs együttható értéke $R^2_{2008} = 0,771$, a becslési hiba értéke $\text{RMSE}_{2008} = 0,046$. Az évekre közösen illesztett modell determinációs együttható értéke $R^2 = 0,715$, a becslés hibája pedig $\text{RMSE} = 0,045$.
3. Szoros exponenciális függvénykapcsolatot állapítottam meg az akusztikus keménységvizsgálat során meghatározott akusztikus keménységtényező és a tömegveszteség között, ahol az egyes mérési évek determinációs együttható értéke: $R^2_{2008} = 0,858$, a becslési hiba értéke $\text{RMSE}_{2008} = 618,9 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$.
4. Az érzékszervi vizsgálat során a Page-teszt eredményei, mint a „harapás és rágás”, „édes íz” és az „összbenyomás” tulajdonságok 99% -os szignifikancia szint mellett a tárolási idő függvényében romló tendenciát mutattak.
5. Elektronikus nyelvvel végzett mérések eredményeivel, PLS-módszer alkalmazásával sikeresen becsültem a tömegveszteséget. Az egyes mérési évek determinációs együttható értékei $R^2_{2008} = 0,656$, $R^2_{2009} = 0,664$, $R^2_{2010} = 0,925$; a becslési hiba értékei $\text{RMSE}_{2008} = 4,256$, $\text{RMSE}_{2009} = 6,235$, $\text{RMSE}_{2010} = 3,105$.
6. A „harapás és rágás” érzékszervi tulajdonságot PLS-módszerrel az elektronikus nyelvvel mért jellemzőkből, az akusztikus keménységtényezőből, a vágási erő és vágási deformáció viszonyból (F_v/D_v), a terhelőerő és a kúszás előtti deformáció (F_t/D_{ke}) viszonyából és az elasztikus deformáció és maximális deformáció (E/D_{\max}) viszonyából becsültem szoros korrelációval ($R^2 = 0,921$), valamint kis becslési hibával ($\text{RMSEP} = 2,252$).

7. Az „édes íz” tulajdonságot érzékszervi tulajdonságot PLS-módszerrel becsültem az elektronikus nyelvvel mért jellemzőkből szoros korrelációval ($R^2 = 0,897$) és kis becslési hibával ($RMSEP = 2,318$).
8. Az „összbenyomás” érzékszervi tulajdonságot PLS-módszerrel becsültem az elektronikus nyelvvel mért jellemzőkből, az akusztikus keménységtényezőből, a vágási erő és vágási deformáció viszonyából (F_v/D_v), a kúszás-kirugózás vizsgálat terhelőerő és kúszás előtti deformáció (F_t/D_{ke}) viszonyából, valamint az elasztikus deformáció és a maximális deformáció (E/D_{max}) viszonyából szoros korrelációval ($R^2 = 0,867$) és kis becslési hibával ($RMSEP = 3,139$).

7. JAVASLATOK TOVÁBBI TUDOMÁNYOS MUNKÁRA, GYAKORLATI ALKALMAZÁSRA

A kutatás során megállapítottam, hogy a sárgarépa nagyon inhomogén szerkezetű termény, melynek a keménységváltozása számos tényező együttes hatásától függ. A további kísérletek során a következő feladatok megoldását javaslom:

- légzésintenzitás mérése a tárolás során
- a tárolási hőmérséklet és páratartalom változtatásának hatása a farész és háncsrész mechanika és ízjellemzőire a tárolási idő függvényében,
- a tömegveszteség nem ideális tárolási körülmények melletti változásának mélyreható elemzése
- mechanikai jellemzők becslése a tömegveszteségből
- ízjellemzők becslése a tömegveszteségből
- nem ideális körülmények közötti tárolás hatását különböző sárgarépa fajták mechanikai és ízjellemzőinek változására,

A kutatás során vizsgált hőmérsékleten a sárgarépa esetében a téli, hosszú idejű tárolás során is jelentkező apadási veszteség nagyobb mértékben jelentkezik, ami a termény rövidebb eltarthatóságát eredményezi. A télen kapható sárgarépát a kistermelőktől piacra kerülése előtt gyakran a pincében vagy homokban tárolták. Mivel a termelő és fogyasztó számára is fontos a minőségi élelmiszer, ezért javaslom, hogy a termelők gyakrabban ellenőrizzék a termény egyes fizikai jellemzőit, így például a tömeget, esetleg a sűrűséget és a keménységet is.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatómunkám során választ kerestem arra, hogy a nem ideális körülmények között történő tárolás során a mechanikai, optikai és ízjellemzőkben milyen mértékű változás következik be. A fizikai változások nyomon követésének céljából kvázistatikus és dinamikus keménységmérési módszerekkel vizsgáltam a Nevis fajtájú sárgarépat. A kvázistatikus keménységvizsgálatot vágási, valamint kúszás-kirugózási teszttel végeztem. A vágási teszt során meghatároztam a vágási erő és vágási deformáció hányadosát (F_v/D_v) és a dekompressziós munka/kompressziós munka hányadosát (M_{DK}/M_K), melyek segítségével a tárolás során bekövetkező tömegvesztést követtem figyelemmel. Az F_v/D_v segítségével sikerült becsülnöm a tömegvesztést, továbbá megállapítottam, hogy a dekompressziós munka/kompressziós munka hányadosa és a tömegvesztés között elfogadható exponenciális függvénykapcsolat van a vizsgált mérési tartományban.

Másik kvázistatikus módszerként a kúszás-kirugózás tesztet választottam, melynek során öt paramétert határoztam meg. Ezek a következők voltak: terhelőerő és kúszás előtti deformáció viszony (F_t/D_{ke}), a terhelőerő és maximális deformáció viszony (F_t/D_{max}), az elasztikus deformáció és maximális deformáció viszony (E/D_{max}), a plasztikus deformáció és maximális deformáció viszony (P/D_{max}), valamint a plasztikus deformáció és elasztikus deformáció viszony (P/E). A méréseket a sárgarépa farészén (xylem) és háncsrészén (phloem) végeztem. Kíváncsi voltam, hogy a sárgarépa egyes szövetei milyen mértékben felelősek a tömeg- és nedvességtartalom csökkenésért. Az eredmények alapján megállapítottam, hogy ezen paraméterek közül a farészen és háncsrészen mért F_t/D_{ke} és E/D_{max} paraméterek mutatják a legszorosabb kapcsolatot a tömegvesztéssel.

Egyes dinamikus keménységvizsgálatok segítségével roncsolás nélkül reprodukálhatjuk egyazon mintán a mérést a termény sérülése nélkül. Ennek érdekében akusztikus vizsgálatot és ütésvizsgálatot végeztem – előbbivel a termény globális, míg az utóbbival a felületi keménysége határozható meg. Az eredmények alapján megállapítottam, hogy a globális keménységet leíró akusztikus keménységtényező és a tömegvesztés között exponenciális függvénykapcsolat áll fenn, továbbá a paraméter segítségével a tömegvesztést is sikerült becsülnöm.

A felületi keménység meghatározására az ütésvizsgálati keménységtényezőt határoztam meg, amit a sárgarépa farészén és háncsrészén is mértem. Ezek a tömegvesztéssel csak részben mutattak kapcsolatot. A kvázistatikus és dinamikus módszereket összehasonlítva megállapítottam, hogy a vágási keménységvizsgálat paraméterei, mint vágási erő/vágási deformáció, az akusztikus keménységtényező, a kúszás-kirugózás teszt terhelőerő/kúszás előtti deformáció viszony és az elasztikus deformáció/maximális deformáció viszony segítségével lehet információt kapni a termény egészében bekövetkező keménységváltozásról. Az optikai változásokat is vizsgáltam a tárolás során, így a NIR és VIS tartományban mértem a sárgarépakat. A NIR vizsgálat során

sikerült a tárolási idő szerint elkülöníteni a mintáimat, valamint észleltem az abszorpciós spektrumon a répában lévő nedvességet. A nedvesség változását a tömegveszteséggel arányos abszorbancia csökkenés mutatta. Azt tapasztaltam, hogy a VIS tartományban a CIELab rendszerben mért L^* világossági tényező értéke mutatott változást a tárolás során, értéke növekedést mutatott a tömegveszteséggel.

Az ízjellemzők változásának nyomon követése céljából a mért sárgarépákból készült lé megmérése elektronikus nyelvvel történt. Megállapítottam, hogy az ízjellemzőkben bekövetkező változások szerint elkülöníthetők a hetente mért csoportok. Megállapítottam, hogy a tárolási idővel megegyező sorrendben a csoportok a „harapás és rágás” érzékszervi tulajdonsága az F_v/D_v , F_t/D_{ke} , E/D_{max} és akusztikus keménységtényező paraméterekkel becsülhető. Ez megerősítette a korábbi eredményeimet, miszerint e három paraméter írja le a legjobban a keménység változását. Az „édes íz” tulajdonságot az elektronikus nyelv eredményeiből sikerült becsülni, míg az „összbenyomást” ezen öt paraméterből együttesen.

8.1. Summary

During my work I tested the change of physical, optical and taste attributes during non-ideal storage conditions. Therefore, I analyzed the Nantes type, Nevis cultivar carrots by quasistatic and dynamic firmness measurements methods. The quasistatic firmness methods were as the follows: cutting test and creep-recovery test. During the cutting test the cutting force/cutting deformation ratio and work ratio parameters were determined, and the mass loss was inspected during the storage time. The mass loss was predicted from the cutting force/cutting deformation ratio and close correlation was found. Furthermore, acceptable correlation was found between the decompression work/compression work ratio and the mass loss in the analyzed interval. The prediction of mass loss from work ratio parameter was acceptable.

The other quasistatic method was the creep-recovery test. The determined parameters were as the follows: compression force/deformation ratio before the creeping (F_t/D_{ke}), compression force/maximal deformation ratio (F_t/D_{max}), elastic deformation/maximal deformation ratio (E/D_{max}), plastic deformation/maximal deformation ratio (P/D_{max}), plastic deformation/elastic deformation ratio (P/E). Both parts of carrots were measured; furthermore, the change in the mass and moisture content were tested. Acceptable correlation was found between the compression force/deformation before creep ratio (F_t/D_{ke}) and elastic deformation/maximal deformation ratio (E/D_{max}) parameters and the mass loss. Furthermore, the mass loss was predicted from these parameters. The xylem part showed the better results, and the change of these parameters was more intensive versus mass loss than that of the phloem.

Dynamic firmness tests were used for non-destructive measurements. The acoustic method gives information about global firmness of produce and the impact one about surface. Very close exponential correlation was found between the acoustic stiffness coefficient and the mass loss. Furthermore, the mass loss was predicted from this parameter, and the correlation of cross validation was close.

For the measurement of surface firmness the impact firmness coefficient was determined on both the xylem and phloem parts. The prediction of mass loss was not reliable from this parameter.

The quasistatic and dynamic firmness methods were compared with each other, and the results showed that the two parameters of cutting test and the acoustic stiffness coefficient gave the best about firmness change in the whole produce. Furthermore, the different tissues of carrot were analyzed by creep-recovery test parameters and the F_t/D_{ke} and E/D_{max} parameters were the best.

The optical change was measured in the VIS and NIR range on both xylem and phloem tissues during the storage. The measured lightness coefficient (L^*) of the CIELab system increased versus the mass loss in the VIS range. As a result of the NIR test the samples were different according to storage time.

The samples were smashed to get juice from the carrots to be measured by the electronic tongue. Sensory attributes were predicted based on the results obtained with mechanical and electronic tongue tests by the means of PLS regression. The “bite and chewing” was predicted from the cutting force/cutting deformation (F_v/D_v), work ratio ($M_{B/A}$) and acoustic stiffness coefficient. The correlation of cross validation was acceptable between the predicted and measured variables. The “sweet taste” was predicted from the electronic tongue measurement results. This prediction was confirmed by very good correlation according to the cross-validation. The “global impression” was predicted from the acoustic stiffness coefficient, cutting force and work ratio and from the electronic tongue measurement results. The correlation coefficient was very good.

9. IRODALOMJEGYZÉK

1. ABBOTT, J.A. (1968) Sonic technique for measuring texture of fruits and vegetables. *Food Technology*, 22, 635-646 p.
2. ABBOTT, J.A. (1999) Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology* 15, 207-225 p.
3. ABBOTT, J.A. & HARKER, F.R. (2004) Texture. Postharvest: Texture of fruits and vegetables. Mt. Albert Research Centre, Auckland, New Zealand
4. ABU-KHALAF, N., BENNEDSEN, B.S., BJØRN, G.K. (2004) Distinguishing Carrot's Characteristics by Near Infrared (NIR) Reflectance and Multivariate Data Analysis Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development. Manuscript FP 03 012
5. AGHBASHLO, M., KIANMEHT, M.H., ARABHOSSEINI, A. & NAZGHELICHI, T. (2011) Modelling the carrot thin-layer drying in a semi-industrial continuous band dryer. *Czech Journal of Food Sciences*, 29(5), 528-538 p.
6. AKAIKE, H. (1978) A Bayesian analysis of the minimum AIC procedure. *Annals of the Institute of Statistical Mathematics* 30, 9–14 p.
7. ALMENAR, E., CATALA, R., HERNANDEZ-MUNOZ, P. & GAVARA, R. (2009) Optimization of an active package for wild strawberries based on the release of 2-nonanone. *LWT-Food Science Technology*, 42, 587–593 p.
8. APELAND, J. and HOFTUN, H. (1971) Physiological effects of oxygen on carrots in storage. *Acta Horticulturae* 20, 108-114 p.
9. ARANA, I., SALVADORES, M.C., JARÉN, C., RUIZ-ALTISENT, M. (1998) Apple mealiness and peach and nectarine wooliness detection. *AgEng*, Oslo, Paper No. 98F-076
10. ARAYA, X.I.T., SMALE, N., ZABARAS, D., WINLEY, E., FORDE, C., STEWART, C.M. & MAWSON, A.J. (2009) Sensory perception and quality attributes of high pressure processed carrots in comparison to raw, sous-vide and cooked carrots. *Innovative Food Science and Emerging Technology*, 10, 420–433 p.
11. ARMSTRONG, P.R., STONE, M.L., BRUSEWITZ, G.H. (1997) Peach firmness determination using two different nondestructive vibrational sensing instruments. *Transaction of the ASAE*, 40(3), 699-703 p.
12. ÁBRAHÁM, GY. (1998) Optika. Panem-McGraw-Hill, Budapest
13. BALÁZS S. (szerk) (1994) Sárgarépa. In: *Zöldségtermesztők kézikönyve*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 1994. ISBN: 9638439378
14. BALLA, CS., SÁRAY, T. (2002) Élelmiszerek tartósítása hűtőkezeléssel. In: Beke Gy. (Szerk.) *Hűtőipari kézikönyv 2. Technológiák*. Mezőgazda Kiadó, Budapest 7-18 p.

15. BARANYAI, L. & SZEPES, A. (2002): Analysis of fruit and vegetable surface color. *Machine Graphics Vision Journal*, 11, 351–361 p.
16. BARNA M.: A zöldségek és gyümölcsök szerepe a táplálkozásban. *Tanulmány*. Forrás: www.mttt.hu (Magyar Táplálkozástudományi Társaság) (2012. október 24.)
17. BARREIRO, J., MILANO, M., & SANDOVAL, A. (1997). Kinetics of colour change of double concentrated tomato paste during thermal treatment. *Journal of Food Engineering*, 33(3–4), 359–371 p.
18. BATHKE, K. (1981) Légzésintenzitás, apadás és a tárolás összefüggései sárgarépanál. *Gartenbau*, 26. 8, 236-238.
19. BERGER, M., KUCHLER, T., MAASSEN, A., BUSCH-STOCKFISCH, M. & STEINHART, H. (2008): Correlations of carotene with sensory attributes in carrots under different storage conditions. *Food Chemistry*, 106, 235–240.
20. BERRUETA, L. A., ALONSO-SALCES, R. M., HÉBERGER K. (2007): Supervised pattern recognition in food analysis. *Journal of Chromatography A*, 1158, 196-214 p.
21. BEULLENS, K., KIRSANOV, D., IRUDAYARAJ, J., RUDNITSKAYA, A., LEGIN, A., NICOLAÏ, B.M., LAMMERTYN, J. (2006) The electronic tongue and ATR–FTIR for rapid detection of sugars and acids in tomatoes. *Sensors and Actuators B*, 116, 107-115 p.
22. BOGYÓ, I. (1999) Tárolás. In: Mártonffy B. (Szerk.) *Gyökérzöldségek*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 49-56 p.
23. BOROWSKA, J., KOWALSKA, M., ZADERNOWSKI, R., SZAJDEK, A. & MAJEWSKA, K. (2004) Changes in organoleptic attributes and physical properties of carrot during hydrothermal treatment. *European Food Research and Technology* 219, 507-513 p.
24. BORSA, B., FEKETE, A., FELFÖLDI, J. (2002) Kertészeti termékek mechanikai és minőségi jellemzői. *Mezőgazdasági gépesítési tanulmányok*, FVM Műszaki Intézet közleménye 41, (2).
25. BOURNE, M. (2002) Food Texture and Viscosity. *Academic Press*, London, UK
26. BUDREWICZ, G., MAJEWSKA, K., BOROWSKA, E. J., ZADERNOWSKI, R. (2005): Texture characteristics of selected carrot varieties for the processing industry. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* 2005, Vol. 14/55, No 1, pp. 57–62 p.
27. BÜNING-PFAUE, H. (2003) Analysis of water in food by near infrared spectroscopy. *Food Chemistry* 82, 107–115 p.
28. CHANG, C-W., LAIRD, D.A., MAUSBACH, M.J., HURBURG, Jr., C.R. (2001) Near-Infrared Reflectance Spectroscopy – Principal Components Regression Analysis of Soil Properties. *Soil Science Society America Journal* 65, 480-490 p.
29. CHEN, P. & RUIZ-ALTISENT, M. & BARREIRO, P. (1996) Effect of impacting mass of firmness sensing of fruits. *Transaction of the ASAE*, 39(3), 1019-1023 p.

30. CORRÊA, P.C., FARINHA, L.R.L., OLIVEIRA, G.H.H., CAMPOS, S. C. & FINGER, F.L. (2010): Texture evaluation affected by physical characteristics of carrots during storage. *CIGR XVII. World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering*. Québec City, Canada Paper, ID: CSBE 101115.
31. CSIMA, GY., KASZAB, T., FEKETE, A. (2010) Influence of storage condition on candy gum quality. *AgEng, Clermont-Ferrand, France*, Paper No. REF478
32. DAVIES, A.M.C. (2005) An introduction to near infrared spectroscopy. *NIR News*, 16, 9-11. p.
33. DEÁKVÁRI, J., JAKOVÁC F. (2006) Termények légzésintenzitás változása a tárolás során *MTA AMB XXX. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás*, Gödöllő, SZIE Gépészmérnöki Kar- FVM Mezőgazdasági Gépesítési Intézet, II. kötet. 151-154 p.
34. DE-BELIE, N., PEDERSEN, D.K., MARTENS, M., BRO, R., MUNCK, L., De BAERDEMAEKER, J. (2003) The use of visible and near-infrared reflectance measurements to assess sensory changes in carrot texture and sweetness during heat treatment. *Biosystem Engineering*, 85(2), 213-225 p.
35. DEL-VALLE, V., HERNANDEZ-MUÑOZ, P., CATALA, R. & GAVARA, R. (2009): Optimization of an equilibrium modified atmosphere packaging for minimally processed mandarin segments. *Journal of Food Engineering*, 91, 474–481 p.
36. DEMIR, N., SAVAŞ BAHÇECİ, K. & ACAR, J. (2007) The effect of processing method on the characteristics of carrot juice. *Journal of Food Quality* 30, 813–822 p.
37. DIEZMA-IGLESIAS, B., VALERO, C., GARCÍA-RAMOS, F.J., RUIZ-ALTISENT, M. (2006) Monitoring of firmness evolution of peaches during storage by combining acoustic and impact methods *Journal of Food Engineering* 77(4), 926–935 p.
38. DI GIACOMO, G., TAGLIERI, L. (2009) A New High-Yield Process for the Industrial Production of Carrot Juice. *Food and Bioprocess Technology* 2. 441–446 p. DOI 10.1007/s11947-009-0207-x
39. DOBRAY, E-né (1982) A zöldségfélék tárolhatóságának biokémiai és élettani alapjai. In.: dr. Bányai Miklós (szerk.) *Terménytárolás szellőztetéssel. Mezőgazdasági Kiadó*, Budapest
40. DOMÁN, CS. (2005) A korrigált determinációs együttható. In: Domán Cs. (Szerk.) *Többváltozós korreláció- és regressziószámítás. Oktatási segédlet. Miskolci Egyetem Gazdaságtudományi Kar.*
41. ESAU, K. (1976): *Plant Anatomy*. Wiley International Edition, New York
42. FEKETE, A., FELFÖLDI, J., SZEPE, A., BORSA, B. (2000) Prediction of tomato rupture. *ASAE Annual International Meeting*, Milwaukee, Wisconsin, Paper No. 006068
43. FEKETE, A. & FELFÖLDI, J. (2000) System for fruit firmness evaluation. *AgEng*, WarWick, Paper No. 00-PH-034

44. FELFÖLDI, J. (1996a) Firmness assessment of fruits and vegetables based on acoustic parameters. *Journal of Food Physics*, 58, 39-74 p.
45. FELFÖLDI, J. (1996b) Gyümölcsök és zöldségfélék keménység-jellemzése akusztikus tulajdonságaik alapján. *Élelmiszerfizikai közlemények IX. Évfolyam* Budapest, 35-45. p.
46. FELFÖLDI, J. & FEKETE A. (2000): Firmness assessment by impact method. *ASAE Annual International Meeting*, Milwaukee, Poster No. 006072
47. FELFÖLDI, J. & FEKETE, A. (2003): Detection of small scale mechanical changes by acoustic measuring system. *ASAE Annual International Meeting*. Las Vegas, Paper No. 036097
48. FELLEGL, L. (2004) Faktoranalízis. In: Szűcs I. (Szerk.) *Alkalmazott statisztika*. Agroinform Kiadó, 447-448. p. ISBN 963 502 761 3
49. FIKSELOVÁ, M., MAREČEK, J., MELLE, M. (2010) Carotens content in carrot roots (*Daucus carota* L.) as affected by cultivation and storage. *Vegetable Crops Research Bulletin* 73., 47-54 p.
50. FIRTHA, F. (2011) Fizika I. egyetemi jegyzet, Budapesti Corvinus Egyetem, Fizika-automatika Tanszék, Budapest
51. FODORPATÁKI, L., KIS, E., FEHÉR, J., KISS, T. (2002) A növények és az állatok szervei és szervrendszerei. In: Székely Gy. (Szerk.) *Biológia*. Ábel Kiadó, Kolozsvár
52. FÜSTÖS, ZS. (szerk.) 2002. Leíró Fajtajegyzék (Sárgarépa) *Országos Mezőgazdasági Minősítő Intézet* 27-64 p.
53. GERGELY, SZ. (2005) Gabonák nyersanyag minősítése: közeli infravörös spektroszkópia. Élelmiszervizsgálati komplex labor. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Biokémiai és Élelmiszertechnológiai Tanszék, Budapest
54. GEYER, M. (1999) Trends bei Aufbereitung von Gemüse. *Monatsschrift* 11. 748-787 p.
55. HARASZTY, Á. (2004) Növény szerkezettan és növényélettan. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest ISBN: 9789631945881
56. HARTYÁNI, P., DALMADI, I., CSERHALMI, Zs, KÁNTOR, D.B., TÓTH-MARKUS, M., SASS-KISS, Á. (2011) Physical–chemical and sensory properties of pulsed electric field and high hydrostatic pressure treated citrus juices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 12(3), 255–260 p.
57. HERPPICH W. B., MEMPEL, H., GEYER, M. (1999) Effects of postharvest mechanical and climatic stress on carrot tissue water relations. *Postharvest Biology and Technology* 16 (1999) 43–49 p.
58. HERPPICH, W.B., MEMPEL, H., GEYER, M. (2000) Interactive effects of mechanical impacts, temperature and humidity on water relation and tissue elasticity of stored carrot. *Journal of Applied Botany* 74, 271-276 p.

59. HERPPICH, W.B., MEMPER, H., GEYER, M. (2001) Drought- and low temperature – acclimation in carrot. *Journal of Applied Botany* 75, 138-143 p.
60. HERPPICH, W. B., GALINDO, F. G., SJÖHOLM, I. & HEROLD, B. (2002): Interactive effects of temperature and water status on processing of fresh cut carrots and radish. *ASABE Annual International Meeting / CIGR XVI. World Congress*. Chicago, Illinois, USA, 026025
61. HERPPICH, W. B., HEROLD, B., GEYER, M., GOMEZ, F. (2004) Effect of temperature and water relation on carrots and radish tuber texture. *Journal of Applied Botany* 78, 11-17 p.
62. HERPPICH, W. B., HEROLD, B., LANDAHL, S., GALINDO, F. G., & GEYER, M. (2005) Effects of Temperature on Produce Texture and Water Status. A Model Study on Radish and Carrots. *Acta Horticulturae* 687. ISHS 235-242 p.
63. HORTOBÁGYI, T. (1980) Agrobotanika. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest 151-158 p.
64. HRASKÓ I-né (2011) Sárgarépa szabadföldi termesztése és hajtatása. In: Kovács A (Szerk.) Gyökérzöldségek termesztése. Mezőgazda Kiadó, Budapest
65. HSU, C. L., CHEN, W., WENG, Y. M., & TSENG, C. Y. (2003). Chemical composition, physical properties, and antioxidant activities of yam flours as affected by different drying methods. *Food Chemistry*, 83(1), 85–92 p.
66. ISTECLA, S. & FELFÖLDI, J. (2003): Sárgarépa állományváltozásának vizsgálata roncsolásmentes akusztikus módszerrel tárolás során. (Monitoring of texture analysis of carrot with non-destructive acoustic method under storage.) *Hajtatás Korai Termesztés*, 36, 24–26 p.
67. ISTECLA, S., MUHA, V., TERBE, I. (2006) Storage ability and differences of carrot varieties defined by firmness changes measured with new non-destructive acoustic method *International Journal of Horticultural Science* 12(1), 37–40 p.
68. JARÉN, C. & GARCIA-PARDO, E. (2002) Using non-destructive impact testing for sorting fruits. *Journal of Food Engineering* 53, 89-95 p.
69. KÁNTOR, D.B., HITKA, G., FEKETE, A., BALLA, CS. (2008) Electronic tongue for sensing taste changes with apricots during storage. *Sensors and Actuators B*, 131, 43-47 p.
70. KÁRPÁTI, Z., GÖRGÉNYI, L-né, TERPÓ, A. (1968) Növényismeret. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
71. KJELLENBERG, L. (2007) Sweet and bitter taste in organic carrot. *Introductory Paper at the Faculty of Landscape Planning, Horticulture and Agricultural Science, Swedish University of Agricultural Sciences Alnarp, September*
72. KOHYAMA, K., HATAKEYAMA, E., DAN, H. & SASAKI, T. (2005) Effects of sample thickness on bite force for raw carrots and fish gels. *Journal of Texture Studies* 36, 157-173 p.
73. KOSÁRY, J. (2012) A tárolás biokémiája. *Egyetemi jegyzet, Budapesti Corvinus Egyetem*, Budapest

74. KOTWALIWALE, N., BAKANE, P., & VERMA, A. (2007) Changes in textural and optical properties of oyster mushroom during hot air drying. *Journal of Food Engineering*, 78(4), 1207–1211 p.
75. KOU, L., D. LABRIE and P. CHYLEK (1993): Refractive indices of water and ice in the 0.65 μm to 2.5 μm spectral range. *Applied Optics*, 32, 3531-3540 p.
76. KOVÁCS, Z., SIPOS, L., KANTOR, D.B., KOKAI, Z., FEKETE, A. (2009a) Mineral Water Taste Attributes Evaluated By Sensory Panel And Electronic Tongue. *AIP Conference Proceeding*, 1137, 489-492 p.
77. KOVÁCS, Z., SZÖLLŐSI, D., FEKETE, A. (2009b) Application of Electronic Tongue to Soya Drink Discrimination *Progress in Agricultural Engineering Sciences* 5, 75–96 p. DOI: 10.1556/Progress.5.2009.4 Akadémiai Kiadó, Budapest
78. KOVÁCS, Z., DALMADI, I., LUKÁCS, L., SIPOS, L., SZÁNTAI-KŐHEGYI, K., KÓKAI, Z., FEKETE, A. (2010) Geographical origin identification of pure Sri Lanka tea infusions with electronic nose, electronic tongue and sensory profile analysis. *Journal of Chemometrics* 24.(3-4), 121-130 p.
79. KOVÁCS, Z., SIPOS, L., SZÖLLŐSI, D., KÓKAI, Z., SZÉKELY, G., FEKETE, A. (2011) Electronic Tongue and Sensory Evaluation for Sensing Apple Juice Taste Attributes *Sensor Letters*, 9(4), 1273-1281 p.
80. KOVÁCS, Z., SZÖLLŐSI, D., FEKETE, A., YOSHIDA, K., ISHIKAWA, E., ISZ, S. & BONNEFILLE, M. (2012) Taste Attributes Profiling in Carrot Juice Using an Electronic Tongue. *Perception and Machine Intelligence, Lecture Notes in Computer Science* 7143, 180-186 p.
81. KREUTZMANN, S., SVENSSON, V.T., THYBO, A.K., BRO, R. & PETERSEN, M.A. (2008) Prediction of sensory quality in raw carrots (*Daucus carota* L.) using multi-block LS-ParPLS. *Food Quality and Preference*, 19, 609–617 p.
82. KROKIDA, M.K., KIRANOUDIS, C.T., MAROULIS, Z.B. (1999) Viscoelastic behaviour of dehydrated products during rehydration *Journal of Food Engineering* 40, 269-277 p.
83. KRUG, H. (1991) Gemüseproduktion. Ein Lehr- und Nachschlagewerk für Studium und Praxis. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg
84. LÁSZLÓ P., ZANA J. Reológia. In: László P. (Szerk.) *Élelmiszerfizika I. Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem Élelmiszeripari Kar*, Budapest, 1999, 65-67 p.
85. LATIF, A. H. M., HOSSAIN, M. Z., AND ISLAM, M. A. (2008) Model Selection Using Modified Akaike's Information Criterion: An Application to Maternal Morbidity Data *Austrian Journal of Statistics* 37 (2), 175–184 p.

86. LAWLESS, H. (1995): Dimensions of sensory quality – a critique. *Food Quality and Preference*, 6, 191–199 p.
87. LEGIN, A., RUDNITSKAYA, A., VLASOV, Y., DI NATALE, C., MAZZONE, E., D'AMICO, A. (1999) Application of Electronic Tongue for Quantitative Analysis of Mineral Water and Wine. *Electroanalysis* 11(10-11), 814-820 p.
88. LOPEZ, A., PIQUE, M., BOATELLA, J., ROMERO, A., FERRAN, A., & GARCIA, J. (1997). Influence drying conditions on the hazelnut quality. III. Browning. *Drying Technology*, 15(3–4), 989–1002 p.
89. MÁNDY, GY., & HORVÁTH, A. (1964) A répa és rokonai. Akadémiai Kiadó, Budapest
90. MARX, M., STUPARIC, M., SCHIEBER, A., CARLE, R. (2003) Effects of thermal processing on trans–cis-isomerization of beta-carotene in carrot juices and carotene-containing preparations. *Food Chemistry* 83 (2003) 609–617 p.
91. MEULLENET, J-F. (1998) Relationship between sensory and instrumental texture profile attributes. *Journal of Sensory Studies*, 13, 77-93 p.
92. MOHSENIN, N.N. (1986) Physical properties of plant and animal materials (Structure, physical characteristics, and mechanical properties). *Gordon and Breach in New York* .
93. MUHA, V. & ISTECLA, S. (2005) Texture changes of vegetable cultivars measured by non-destructive methods. *International Journal of Horticultural Science* 11(2), 59-62 p.
94. MUNOZ, A.M. (2002): Sensory evaluation in quality control: an overview, new developments and future opportunities. *Food of Quality Preference*, 13, 329–339 p.
95. MURAMATSU, N., SAKURAI, N., YAMAMOTO, R., NEVINS, D.J., TAKAHARA, T., OGATA, T. (1997) Comparison of a non-destructive acoustic method with an intrusive method for firmness measurement of kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology* 12, 221–228 p.
96. NÉMETHY, H. & FEHÉR, M. (2002a): Changes in the carotene content of Nantes type carrots during storage. *International Journal of Horticultural Science* 8(2), 72–75.
97. NÉMETHY, H. & FEHÉR, M. (2002b): Changes in the dry matter and sugar content of Nantes type carrots during storage. *International Journal of Horticultural Science*. 8(2), 67–71.
98. NÉMETHYNÉ, U., H. & STEFANOVITSNÉ, B., É. (2001) Karotinforrásunk a sárgarépa. *Olaj, Szappan, Kozmetika*, 50(5), 180-182 p.
99. NICOLAÏ, B.M., BELLUENS, K., BOBELYN, E., PEIRS, A., SAEYS, W., THERON, K.I., LAMMERTYN, J. (2007) Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biology and Technology*, 46, 99-118 p.
100. NGUYEN, L.T., RASTOGI, N.K. & BALASUBRAMANIAM, V.M. (2007) Evaluation of the instrumental quality of pressure-assisted thermally processed carrot. *Journal of Food Science* 72(5), 264-270. p.

101. NORTHOLT, M., BURGT, G.-J. V.D., BUISMAN, T. & BOAGAERDE, A.V. (2004): Parameters of carrot quality and the development of the inner quality concept. *Louis Bolk Instituut Driebergen*, Netherlands, 49–52. p.
102. ODA, Y., PARK, B.S., MOON, K.H. & TONOMURA, K. (1997): Recycling of bakery wastes using an amylolytic lactic acid bacterium. *Bioresource Technology*, 60, 101–106 p.
103. PAGE, E. B. (1963) Ordered Hypotheses for Multiple Treatments: A Significance Test for Linear Ranks *Journal of the American Statistical Association*, 58, (301), 216–230 p.
104. PATRAS, A., TIWARI, B.K., BRUNTON, N.P., BUTLER F. (2009) Modelling the effect of different sterilization treatments on antioxidant activity and colour of carrot slices during storage. *Food Chemistry* 114, 484–491 p.
105. PRAKASH, S., JHA, S.K. & DATTA, N. (2004): Performance evaluation of blanched carrots dried by three different driers. *Journal of Food Engineering*, 62, 305–313.
106. QUILTZSCH, R., BARANSKA, M., SCHULZ, H. HOBERG, E. (2005) Fast determination of carrot quality by spectroscopy methods in the UV-VIS, NIR and IR range. *Journal of Applied Botany and Food Quality* 79, 163–167 p.
107. RASHIDI, M., BAHRI, M.H. & ABBASI, S. (2009) Effect of relative humidity, coating methods and storage periods on some qualitative characteristics of carrot during cold storage. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science* 5(3), 359–367 p.
108. RASHIDI, M., RANJBAR, I., GHOLAMI, M. & ABBASSI, S. (2010) Prediction of Carrot Firmness Based on Carrot Water Content. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science*, 7(4), 402–405 p.
109. ROSENFELD, H.J., RISVIK, E., SAMUELSEN, R.T. & RODBOTTEN, M. (1997): Sensory profiling of carrots from northern latitudes. *Food Research International*, 30, 593–601p.
110. SAKAMOTO, Y., ISHIGURO, M., KITAGAWA, G. (1986) Akaike Information Criterion Statistics. D. Reidel Publishing Company
111. SÁRAY, T. (2002) Élelmiszerek hűtőtárolása (sárgarépa). In: Beke Gy. (Szerk.) *Hűtőipari kézikönyv 2. Technológiák*. Mezőgazda Kiadó, Budapest 183. p.
112. SÁRAY, T. (2006) Fejlesztési törekvések a zöldségfélék tárolásának és szállításának korszerűsítésében. *Agrárágazat*, 7(6), 86–88 p.
113. SÁRAY, T. (2008) A szabályozott légterű ultra alacsony oxigén tartalmú (CA/ULO) hűtőtárolás. *Agrárágazat*, 9(2), 88–90 p.
114. SCHULZ, H., QUILTZSCH, R., DREWS, H.-H., KRÜGER, H. (2000) Estimation of minor components in caraway, fennel and carrots by NIRS – Comparison of results from dispersive and Fourier-Transform Instrument. *International Agrophysics* 14, 249–253 p.

115. SEGERLIND, L.J., SNOBAR, B.A., HELDMAN, D.R. (1977) Compression and relaxation properties of carrots. *Journal of Texture Studies* 7, 451-456 p.
116. SELJÅSEN, R., BENGTSSON, G.B., HOFTUN, H. & VOGT, G. (2001): Sensory and chemical changes in five varieties of carrots (*Daucus carota* L.) in response to mechanical stress at harvest and post-harvest. *Journal of the Science and Food of Agriculture*, 81, 435–447.
117. SHERMAN, P. (1970) Instrumental methods for evaluating food texture. Proceedings of the Nutrition Society, 29, 298-309 p.
118. SHIBAIRO, S.I., UPADHYAYA, M.K. & TOIVONEN, P.M.A. (1997): Postharvest moisture loss characteristics of carrot (*Daucus carota* L.) cultivars during short-term storage. *Scientia Horticulturae*, 71, 1–12 p.
119. SITKEI, GY. (1981) A mezőgazdasági anyagok mechanikája. Akadémiai Kiadó, Budapest
120. SHMULEVICH, I., BEN-ARIE, R., N. SENDLER, N., CARMI, Y. (2003) Sensing technology for quality assessment in controlled atmospheres. *Postharvest Biology and Technology* 29, 145-154 p.
121. SOUCI, S., W., FACHMENN, W., KRAUT, H. (1986) Die Zusammensetzung der Lebensmittel Nährwert-Tabellen 1986-87. *Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart*
122. STEFFE, J.F. (1996) Rheological Methods in Food Process Engineering, Freeman Press, USA
123. SZALAI, I. (1994) A növények élete I. Az életjelenségek analízise a molekuláris szintről az ökológiai szintig. *JATE Press*, Szeged
124. SZELÉNYI, L. (2004) Klaszteranalízis. In: *Szűcs I. (Szerk.) Alkalmazott statisztika*. Agroinform Kiadó, 496-510. p. ISBN 963 502 761 3
125. TAKÁCSNÉ HÁJOS M. (1999): Sárgarépa fajták minőségi mutatóinak alakulása különböző vízellátás mellett. *Tiszántúli Mezőgazdasági Tudományos Napok. Debrecen*. 1999. október 28-29. 253-261. p.
126. TARREGA, A. & COSTELL, E. (2006): Effect of composition on the rheological behaviour and sensory properties of semisolid dairy dessert. *Food Hydrocolloids*, 20, 914–922 p.
127. TARREGA, A. & COSTELL, E. (2007): Colour and consistency of semi-solid dairy desserts: Instrumental and sensory measurements *Journal of Food Engineering*, 78, 655–661 p.
128. THOMPSON, A., K. (2003) Postharvest technology of fruits and vegetables. In: *Fruit and vegetables: harvesting, handling and storage*. Blackwell Publishing Ltd 184-185 p.
129. TOKO, K. (2000a): *Biomimetic sensor technology*. Cambridge University Press, New York, pp. 113–180 p.
130. TOKO, K. (2000b): Taste sensor. *Sensors and Actuators B-Chemical*, 64, 205–215 p.

131. VIZDÁK, K. (2004) A diszkriminancia-analízis. In: *Szűcs I. (Szerk.) Alkalmazott statisztika*. Agroinform Kiadó, 477-494. p. ISBN 963 502 761 3
132. VANDRESEN, S., QUADRI, M.G.N., DE SOUZA, J.A.R. & HOTZA, D. (2009): Temperature effect on the rheological behavior of carrot juices. *Journal of Food Engineering*, 92, 269–274.
133. VARGA, ZS: A zöldségfélék jellemző tápanyagai, jelentőségük a táplálkozásban. *Tanulmány*. Forrás: www.mttt.hu (Magyar Táplálkozástudományi Társaság) (2012. október 24.)
134. VARMING, C., JENSEN, K., MOLLER, S., BROCKHOFF, P.B., CHRISTIANSEN, T., EDELENBOS, M., BJORN, G.K. & POLL, L. (2004) Eating quality of raw carrots – correlations between flavour compounds, sensory profiling analysis and consumer liking test. *Food Quality and Preference*, 15, 531–540 p.
135. www.vitaliskft.com 2012.október 24.
136. www.omgk.hu 2012. szeptember 4.
137. VLASOV, Y., LEGIN, A. & RUDNITSKAYA, A. (2002): Electronic tongues and their analytical application. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 373, 136–146 p.
138. YURLU, Y.B. (2012) Comparison of nondestructive impact and acoustic techniques for measuring firmness in peaches. *Journal of Food, Agricultural & Environment* 10(2), 180-185 p.
139. ZANONI, B., LAVELLI, V., AMBROSOLI, R., GARAVAGLIA, L., MINATI, J. & PAGLIARINI, E. (2007) A model to predict shelflife in air and darkness of cut, ready-to-use, fresh carrots under both isothermal and non-isothermal conditions. *J. Food Engng*, 79, 586–591 p.
140. ZIELIŃSKA, M., ZAPOTOCZNY, P., MAREK MARKOWSKI, M. (2005) Colour standard and homogenous groups of dried carrots of 34 commercial varieties. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* 14/55(1), 51–56 p.
141. ZSOM-MUHA, V., FELFÖLDI, J. (2007) Vibration Behaviour of Long Shape Vegetables. *Progress in Agricultural Engineering Sciences* 3, 21–46 p. DOI: 10.1556/Progress.3.2007.4 Akadémiai Kiadó, Budapest
142. ZSOM, T., MUHA, V., HERPPICH, W.B., BALLA, CS. (2005) Paprika pulton tárolhatóságának vizsgálata. *Kertgazdaság* 37, 101-104 p.
143. ZUDE, M., HEROLD, B., ROGER, J-M., BELLON-MAUREL, V., LANDAHL, S. (2006) Non-destructive tests on the prediction of apple fruit flesh firmness and soluble solids content on tree and in shelf life *Journal of Food Engineering* 77, 254-260 p.

10. MELLÉKLET

10.1. Durbin-Watson statisztika elfogadási- és bizonytalansági tartománya, kritikus d értékek

DW elfogadási tartomány				
Mérési sorozat	n	k	α	Kritikus d értékek
„EK1”	16	1	0,05	1,106<1,371<DW<2,629<2,894
„EK2”	35			1,402<1,519<DW<2,481<2,598
2008	60			1,549<1,616<DW<2,384<2,451
2009	60			1,549<1,616<DW<2,384<2,451
2010	45			1,475<1,566<DW<2,434<2,525
2008-2009-2010	165			1,733<1,758<DW<2,242<2,267
2008-2009	120			1,685<1,719<DW<2,281<2,315
	elfogadási tartomány			
	bizonytalansági tartomány			

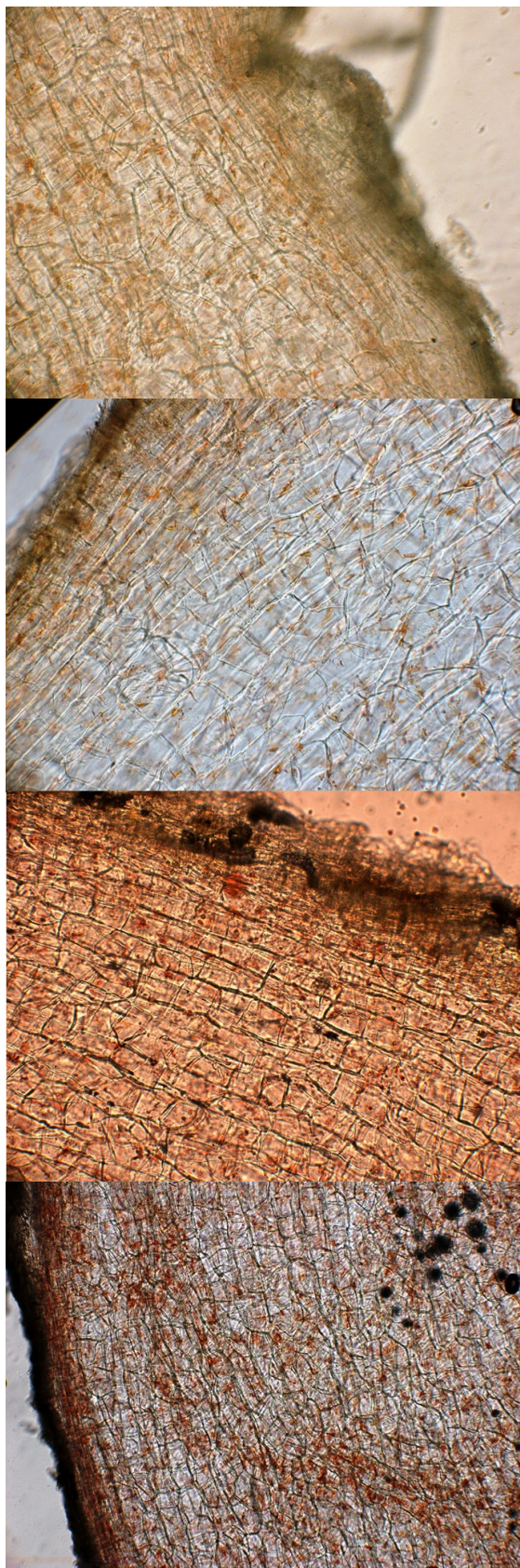
10.2. Friss sárgarépa összetevői és tápanyagai

összetevők	menyiség	átlagos értéke 100g-ban	összetevők	menyiség	átlagos értéke 100g-ban
Víz	g	88,20	Almasav	mg	293,00
Fehérje	g	0,98	Citromsav	mg	51,00
Zsír	g	0,20	Oxálsav	mg	6,10
Elérhető szénhidrátok	g	5,16	Oxálsav (oldható)	mg	1,50
Összes élelmi rost	g	3,43	Kínasav	mg	51,00
Ásványok	g	0,86	Ferulsav	mg	1,50
Nátrium	mg	60,00	Kávéssav	mg	6,00
Kálium	mg	290,00	Borostyánkősav	mg	5,00
Magnézium	mg	18,00	Fumársav	mg	7,00
Kalcium	mg	41,00	Glükóz	g	1,61
Mangán	mg	0,21	Fruktóz	g	1,45
Vas	mg	2,10	Szacharóz	g	1,76
Kobalt	µg	2,00	Pektin	g	1,35
Réz	mg	0,13	Pentosan	g	0,32
Cink	mg	0,64	Hexosan	g	0,64
Nikkel	µg	25,00	Cellulóz	g	0,95
Króm	µg	5,00	Inozin	mg	26,50
Molibdén	µg	8,00	Mannit	g	0,16
Vanádium	µg	10,00	Mirisztinsav	mg	0,30
Foszfor	mg	35,00	Palmitinsav	mg	32,00
Klorid	mg	61,00	Sztearinsav	mg	2,10
Fluorid	µg	27,00	Arachinsav	mg	0,60
Jodid	µg	15,00	Olajsav	mg	3,40
Bór	mg	0,31	Eikozénsav	mg	0,60
Szelén	µg	0,20	Linolsav	mg	104,00
Bróm	µg	147,00	Linolénsav	mg	9,60
nitrát	mg	50,00	Összes szterin	mg	12,00
Karotin	mg	12,00	Kampeszterin	mg	1,00
E vitamin	mg	0,60	Béta-szitoszterin	mg	7,00
Összes tokoferol	mg	0,68	sztigmaszterin	mg	3,00
Alfa-tokoferol	mg	0,60	Élelmi rost oldott	g	1,51
Béta-tokoferol	µg	30,00	Élelmi rost oldhatatlan	g	1,92
Alfa-tokotrienol	µg	50,00	Lignin	mg	60,00
K vitamin	µg	80,00			
B1 vitamin	µg	69,00			
B2 vitamin	µg	53,00			
Nikotinamid	mg	0,58			
Pantoténsav	mg	0,27			
B6 vitamin	µg	93,00			
Biotin	µg	5,00			
Folsav	µg	8,00			
C vitamin	µg	7,00			
Arginin	mg	41,00			
Cisztin	mg	13,00			
Hisztidin	mg	15,00			
Izoleucin	mg	43,00			
Leucin	mg	42,00			
Lizin	mg	47,00			
Metionin	mg	8,00			
Fenilalanin	mg	31,00			
Treonin	mg	36,00			
Triptofán	mg	10,00			
Tirozin	mg	16,00			
Valin	mg	40,00			

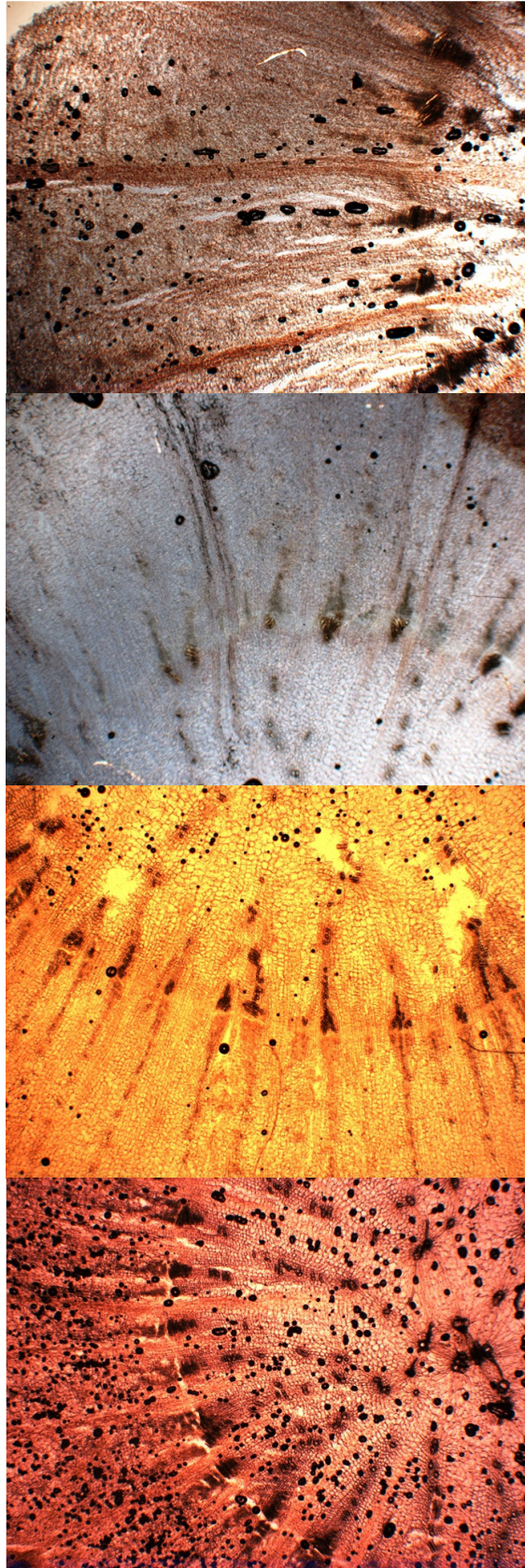
Forrás: Souci et al., 1986

10.3. Mikroszkópos felvételek

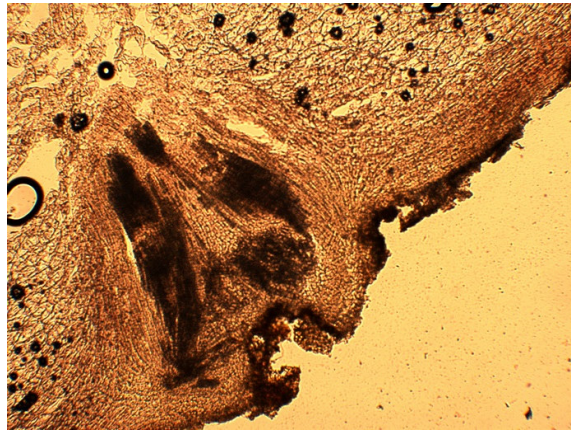
1. Rizodermisz, kortex és sztéle: lefelé haladva a 0. hét, 1. hét, 2. hét és 5. hét (Nagyítás 200x)



2. Kambium: lefelé haladva a 0. hét, 1. hét, 2. hét és 5. hét (Nagyítás 25x)



3. Oldalgöker-képződmény (Nagyítás 25x)



10.4. Ábrajegyzék

1. ábra	A sárgarépa szövetei.....	12
2. ábra	A sárgarépa farésze (I) és háncsrésze (II) 500-szoros nagyításban.....	13
3. ábra	Sárgarépa fajtatípusok (Hraskó, 2011) A – Párizsi vásár; B – Amszterdami; C – Nanti; D – Chantenay; E – Berlicum; F – Danvers; G – Flakker; H – Imperator; I – St Valery.....	13
4. ábra	Terhelőerő (F) – deformáció (s) jelleggörbéje (László és Zana, 1999).....	21
5. ábra	Különböző hőmérsékletű víz abszorpciós csúcsai (Kou, 1993)	32
6. ábra	Az egyes sárgarépcsoportok tárolási időtartama „nem ideális” feltételek mellett.....	44
7. ábra	Mérőkör kertészeti termékek légzésintenzitásának meghatározására zárt rendszerű respirométerrel	45
8. ábra	Metszetkészítés eszközei a) Leitz típusú fagyasztó mikrotóm, b) Zeiss Axio Imager.A2 mikroszkóp, rászertelt Axio Cam HRc kamerával.....	46
9. ábra	SMS TA-XT2 precíziós penetrométer a kés/guillotine mérőfejjel	48
10. ábra	Erő-deformáció görbe a dekompresziós munka és kompressziós munka hányados magyarázatához.....	48
11. ábra	Az akusztikus mérés elrendezése	49
12. ábra	A kúszás-kirugózás teszt deformáció-idő diagramja.....	50
13. ábra	SMS TA-XT2 precíziós penetrométer a 75 mm-es alumíniumlap fejjel.....	51
14. ábra	Az ütésvizsgálati módszer mérési elrendezése	51
15. ábra	Az ütésvizsgálati mérési pontjai a sárgarépa farészén és háncsrészén.....	52
16. ábra	A PMC Spectralyzer 10-25 infravörös spektrométer	52
17. ábra	Mintaelőkészítés NIR méréshez a) egész korong, b) háncsrész minta, c) farész minta	53
18. ábra	A ColorLite sph850 színmérő ábrája (www.vitaliskft.com).....	54
19. ábra	Az Alpha Astree potenciometrikus elektronikus nyelv vázlatos ábrája (Kovács et al, 2009a).....	54
20. ábra	A tömegveszteség alakulása a tárolási idő függvényében („EK1” sorozat).....	59
21. ábra	Légzésintenzitás a tárolási idő függvényében („EK1” sorozat).....	60
22. ábra	Légzésintenzitás a tömegveszteség függvényében („EK1” sorozat)	60
23. ábra	Faelemek és parenchimasejtek alakulása a tárolás folyamán a) 0. héten, b) 1. héten, c) 2. héten, d) 5. héten (Nagyítás: 400x)	61
24. ábra	Tömegveszteség a tárolási idő függvényében („EK2” sorozat).....	62
25. ábra	A sárgarépalé-minták diszkriminanciaanalízise (Root1-Root2) az elektronikus nyelv eredményei alapján, baloldalon a hetente frissen mért, jobboldalon a fagyasztott és egyszerre mért minták eredményei („EK2” sorozat).....	65
26. ábra	Tömegveszteség (átlag és a 95% megbízhatósági szint) a mérési idő függvényében.....	66
27. ábra	Vágási erő és vágási deformáció viszonya a tárolási idő függvényében, 95%-os megbízhatósági szinten (2008., 2009. és 2010. évi sorozatok)	67
28. ábra	A vágási erő és vágási deformáció viszonya (F_v/D_v) a tömegveszteség függvényében (2008. évi mérési sorozat)	68
29. ábra	A vágási erő és vágási deformáció viszonya (F_v/D_v) a tömegveszteség függvényében (közös modellillesztés az összes sorozatra, 2008, 2009 és 2010).....	68
30. ábra	A vágási erő és vágási deformáció viszonya (F_v/D_v) a tömegveszteség függvényében (közös modellillesztés a 2008. és 2009. évi sorozatokra)	69
31. ábra	A vágási erő a deformáció függvényében (2008. évi sorozat).....	70
32. ábra	A dekompresziós munka és kompressziós munka hányadosa a tárolási idő függvényében 95%-os megbízhatósági szinten (2008., 2009. és 2010. évi sorozatok).....	71
33. ábra	Dekompresziós munka és kompressziós munka hányadosa a tömegveszteség függvényében (2008. évi sorozat).....	72
34. ábra	Dekompresziós munka és kompressziós munka hányadosa a tömegveszteség függvényében (közös modellillesztés az összes sorozatra 2008, 2009, 2010)	72

35. ábra	Dekompressziós munka és kompressziós munka hányadosa a tömegveszteség függvényében (közös modellillesztés a 2008-2009. évek adataira).....	73
36. ábra	Az akusztikus keménységtényező alakulása a tárolási idő függvényében 95%-os megbízhatósági szint mellett (2008., 2009. és 2010. évi sorozatok).....	74
37. ábra	Akusztikus keménységtényező a tömegveszteség függvényében (2008. évi sorozat).....	75
38. ábra	A kúszás-kirugózás teszt alatt a túllendülés a mérési sebesség függvényében a farész esetében	76
39. ábra	A maximális deformáció és a kúszás kezdőpontjában mért deformáció közötti különbség százalékban a kúszási idő függvényében farész esetében	77
40. ábra	A kúszás-kirugózás teszt paraméterei a tárolási idő függvényében 95%-os megbízhatósági szint mellett a) terhelőerő/kúszás előtti deformáció (F_t/D_{ke}), b) terhelőerő/maximális deformáció (F_t/D_{max}), c) elasztikus deformáció/maximális deformáció (E/D_{max}) d), plasztikus deformáció/maximális deformáció (P/D_{max}), e) plasztikus deformáció/elasztikus deformáció (P/E) (2010. évi sorozat).....	78
41. ábra	A kúszás-kirugózás teszt paramétereinek a terhelőerő/kúszás előtti deformáció (F_t/D_{ke}), a terhelőerő/maximális deformáció (F_t/D_{max}), az elasztikus deformáció/maximális deformáció (E/D_{max}), a plasztikus deformáció/maximális deformáció (P/D_{max}) és plasztikus deformáció/elasztikus deformáció (P/E) százalékos változása a tárolás idő végére.....	79
42. ábra	Főkomponens elemzés (PC1 – PC2) a kúszás-kirugózás teszt paraméterei terhelőerő / kúszás előtti deformáció (F_t/D_{ke}), terhelőerő/maximális deformáció (F_t/D_{max}), elasztikus deformáció/maximális deformáció (E/D_{max}), plasztikus deformáció/maximális deformáció (P/D_{max}) és plasztikus deformáció/elasztikus deformáció (P/E) alapján, a) farészen, b) háncsrészen	80
43. ábra	Főkomponens elemzés (PC1–PC2) a kúszás-kirugózás teszt paraméterei terhelőerő/kúszás előtti deformáció (F_t/D_{ke}), elasztikus deformáció/maximális deformáció (E/D_{max}) és plasztikus deformáció/maximális deformáció (P/D_{max}) alapján a) farész b) háncsrész (2010. évi sorozat)	81
44. ábra	A terhelőerő és kúszás előtti deformáció viszony (F_t/D_{ke}) a tömegveszteség függvényében a sárgarépa farészén és háncsrészén (2010. évi sorozat).....	83
45. ábra	A terhelőerő és a maximális deformáció viszonya (F_t/D_{max}) a tömegveszteség függvényében a sárgarépa farészén és háncsrészén (2010. évi sorozat).....	83
46. ábra	Elasztikus deformáció és maximális deformáció viszonya (E/D_{max}) a tömegveszteség függvényében a sárgarépa farészén és háncsrészén (2010. évi sorozat).....	84
47. ábra	Plasztikus deformáció és elasztikus deformáció viszonya (P/E) a tömegveszteség függvényében a sárgarépa farészén és háncsrészén (2010. évi sorozat).....	85
48. ábra	Az ütésvizsgálati keménységtényező alakulása a tárolási idő függvényében 95%-os megbízhatósági szint mellett (2008., 2009. és 2010. évi sorozatok).....	86
49. ábra	Az ütésvizsgálati keménységtényező a tömegveszteség függvényében a farészen és háncsrészen (2009. évi sorozat)	87
50. ábra	Főkomponenselemzés (PC1-PC2) a vágási erő/vágási deformáció (F_v/D_v), dekompressziós munka/kompressziós munka hányadosa (M_{DK}/M_K), terhelőerő/kúszás előtti deformáció (F_t/D_{ke}), terhelőerő/maximális deformáció (F_t/D_{max}), elasztikus deformáció/maximális deformáció (E/D_{max}), plasztikus deformáció/maximális deformáció (P/D_{max}), valamint a plasztikus deformáció/elasztikus deformáció (P/E) viszonya alapján (2010. évi sorozat).....	88
51. ábra	Főkomponenselemzés (PC1-PC2) az akusztikus keménységtényező, valamint a farész és háncsrész ütésvizsgálati keménységtényezője alapján (2010. évi sorozat).....	90
52. ábra	Főkomponenselemzés (PC1-PC2) az akusztikus keménységtényező, az ütésvizsgálati keménységtényező, a vágási erő/vágási deformáció (F_v/D_v) és dekompressziós munka/kompressziós munka hányadosa (M_{DK}/M_K) alapján (2010. évi sorozat).....	91
53. ábra	Főkomponenselemzés (PC1-PC2) az ütésvizsgálati és akusztikus keménységtényező, valamint terhelőerő/kúszás előtti deformáció (F_t/D_{ke}) terhelőerő/maximális deformáció (F_t/D_{max}) elasztikus deformáció/maximális deformáció (E/D_{max}) plasztikus deformáció/maximális	

deformáció (P/D_{\max}) plasztikus deformáció/elasztikus deformáció (P/E) alapján (2010. évi sorozat)	92
54. ábra Főkomponenselemzés (PC1-PC2) az ütésvizsgálati és akusztikus keménységtényező, a vágási erő/vágási deformáció (F_v/D_v) és dekompressziós munka/kompressziós munka hányadosa (M_{DK}/M_K), valamint terhelőerő/kúszás előtti deformáció (F_t/D_{ke}) terhelőerő/maximális deformáció (F_t/D_{\max}) elasztikus deformáció/maximális deformáció (E/D_{\max}) plasztikus deformáció/maximális deformáció (P/D_{\max}) plasztikus deformáció/elasztikus deformáció (P/E) alapján (2010. évi sorozat)	93
55. ábra Főkomponenselemzés (PC1-PC2) az akusztikus keménységtényező, vágási erő/vágási deformáció (F_v/D_v), a terhelőerő/kúszás előtti deformáció (F_t/D_{ke}), elasztikus deformáció/maximális deformáció (E/D_{\max}) paraméterei alapján (2010. évi sorozat)	94
56. ábra Akusztikus keménységtényező a vágási erő és vágási deformáció viszony (F_v/D_v) függvényében (2010. évi sorozat)	95
57. ábra Akusztikus keménységtényező a dekompressziós munka és kompressziós munka viszonya (M_{DK}/M_K) függvényében (2010. évi sorozat)	96
58. ábra Ütésvizsgálati keménységtényező a terhelőerő és a kúszás előtti deformáció viszony (F_t/D_{ke}) függvényében a farész és háncsrész kockák mérése alapján (2010. évi sorozat)	96
59. ábra Ütésvizsgálati keménységtényező a elasztikus deformáció és maximális deformáció viszony (E/D_{\max}) függvényében a farész és háncsrész kockák mérése alapján (2010. évi sorozat)	97
60. ábra Sárgarépa farészén és háncsrészén mért abszorpció (2008. és 2009. évi sorozatok) a) 2008. farész b) 2008. háncsrész c) 2009. farész d) 2009. háncsrész	98
61. ábra Abszorbancia a tömegveszteség függvényében a sárgarépa farészén és háncsrészén	99
62. ábra A CIE $L^*a^*b^*$ színjellemzők a tárolási idő függvényében (95%-os CI mellett) a) sárgarépa farészén és b) háncsrészén (2008. évi sorozat)	100
63. ábra Világossági tényező a tömegveszteség függvényében a sárgarépa farészén és háncsrészén (2008. évi sorozat)	101
64. ábra A sárgarépalé-minták diszkriminanciaanalízise (Root1-Root2) az elektronikus nyelv eredményei alapján (2010. évi sorozat)	102
65. ábra Tömegveszteség becslése PLS-regresszióval az elektronikus nyelv eredményei alapján (2010. évi sorozat)	103
66. ábra Page-teszt alapján a szignifikáns érzékszervi tulajdonságok a tárolási idő függvényében (2010. évi sorozat)	104
67. ábra A „harapás és rágás” érzékszervi tulajdonság becslése PLS regresszióval a vágási erő és vágási deformáció viszony (F_v/D_v), a terhelőerő és kúszás előtti deformáció viszony (F_t/D_{ke}), az elasztikus deformáció és maximális deformáció viszony (E/D_{\max}) és az akusztikus keménységtényező eredmények alapján	106
68. ábra Az „édes íz” érzékszervi tulajdonság becslése PLS regresszióval az elektronikus nyelv eredmények alapján	106
69. ábra Az „összbenyomás” érzékszervi tulajdonság becslése PLS regresszióval a vágási erő/vágási deformáció viszony (F_v/D_v), a terhelőerő/kúszás előtti deformáció viszony (F_t/D_{ke}), az elasztikus deformáció/maximális deformáció viszony (E/D_{\max}), az akusztikus keménységtényező és az elektronikus nyelv eredmények alapján	107

10.5. Táblázatjegyzék

1. táblázat	Sárgarépa fajtatípusok főbb jellemzői (Hraskó, 2011)	14
2. táblázat	A vizsgált sárgarépák beszerzési adatai, mértani tulajdonságai , és mintaszámok	43
3. táblázat	A kísérletek során alkalmazott módszerek.....	45
4. táblázat	Durbin–Watson-értékek és determinációs együtthatók lineáris függvénykapcsolat esetén az egyes keménységi paraméterekre a tömegveszteség függvényében	63
5. táblázat	A lineáris és exponenciális függvénykapcsolatok a dekompressziós munka/kompressziós munka hányadosa (M_{DK}/M_K) és a tömegveszteség között (Durbin–Watson-érték, determinációs együttható, Akaike információs kritérium és becslési hiba)	63
6. táblázat	A lineáris és exponenciális függvénykapcsolatok az akusztikus keménységtényező és a tömegveszteség között (Durbin–Watson érték, determinációs együttható, Akaike információs kritérium és becslési hiba)	64
7. táblázat	A sorozatok Durbin–Watson értékei, determinációs együtthatói és AIC értékei a vágási erő/vágási deformáció értékei alapján.....	67
8. táblázat	Regresszioelemzés a tömegveszteség becslésére a vágási erő és vágási deformáció viszonya (F_v/D_v) alapján.....	69
9. táblázat	A dekompressziós munka és kompressziós munka hányadosa és tömegveszteség kapcsolatának meghatározásához alkalmazott modellek Durbin–Watson statisztika értékei, determinációs együtthatói, Akaike értékei és becslési hibái	71
10. táblázat	Az akusztikus keménységtényező és a tömegveszteség közötti kapcsolat alapján az illesztett modellek, Durbin–Watson-értékek , determinációs együtthatók, Akaike-értékek és a becslési hibák	74
11. táblázat	A farészen és hánscrészen mért kúszás-kirugózás teszt paraméterek szórása	79
12. táblázat	A hetente mért sárgarépa csoportok diszkriminancia-elemzésének keresztvalidációs táblázata a kúszás-kirugózás teszt paraméterei a farész (F_t/D_{ke} , F_t/D_{max} , E/D_{max} , P/D_{max} és P/E) paraméterei alapján (2010. évi sorozat)	80
13. táblázat	A hetente mért sárgarépa csoportok diszkriminancia-elemzésének keresztvalidációs táblázata a kúszás-kirugózás teszt paraméterei a hánscrész (F_t/D_{ke} , F_t/D_{max} , E/D_{max} , P/D_{max} és P/E) paraméterei alapján (2010. évi sorozat).....	80
14. táblázat	A hetente mért sárgarépa csoportok diszkriminanciaelemzésének keresztvalidációs táblázata a farész terhelőerő-kúszás előtti deformáció viszony (F_t/D_{ke}) és elasztikus deformáció-maximális deformáció viszony (E/D_{max}) paraméterei alapján (2010. évi sorozat)	81
15. táblázat	A hetente mért sárgarépa csoportok diszkriminanciaelemzésének keresztvalidációs táblázata a hánscrész terhelőerő-kúszás előtti deformáció viszony (F_t/D_{ke}) és elasztikus deformáció-maximális deformáció viszony (E/D_{max}) paraméterei alapján (2010. évi sorozat) ..	82
16. táblázat	A kúszás-kirugózás teszt számolt paraméterei, Durbin–Watson-értékek és a determinációs együtthatók, Akaike értékek, becslési hibák és a jósolható eltérés arányai tömegveszteség esetén.....	82
17. táblázat	A kúszás-kirugózás teszt számolt paraméterei, Durbin–Watson-értékek és a determinációs együtthatók, Akaike értékek, becslési hibák és a jósolható eltérés arányai szárazbázisra számolt nedvességtartalom esetén	85
18. táblázat	A mérési sorozatok farészének és hánscrészének Durbin–Watson-értékei és a determinációs együtthatói, Akaike értékek, becslési hibák és jósolható eltérések arányai az ütésvizsgálati keménységtényező alapján	87
19. táblázat	A különböző időpontokban mért sárgarépa csoportok diszkriminanciaelemzésének keresztvalidációs táblázata a vágási keménységvizsgálat (F_v/D_v és M_{DK}/M_K) és a kúszás-kirugózás teszt paraméterei (F_t/D_{ke} , F_t/D_{max} , E/D_{max} , P/D_{max} , P/E) alapján (2010. évi sorozat) ..	89

20. táblázat	A különböző heteken mért csoportok diszkriminanciaelemzésének keresztvalidációs táblázata az akusztikus keménységtényező, valamint a farész és háncsrész ütésvizsgálati keménységtényezője alapján (2010. évi sorozat).....	90
21. táblázat	A különböző heteken mért csoportok diszkriminanciaelemzésének keresztvalidációs táblázata az ütésvizsgálati és akusztikus keménységtényező, valamint a vágási keménységvizsgálat eredményei (F_v/D_v és M_{DK}/M_K) alapján (2010. évi sorozat)	91
22. táblázat	A különböző heteken mért csoportok diszkriminanciaelemzésének keresztvalidációs táblázata az ütésvizsgálati és akusztikus keménységtényező és a kúszás-kirugózás teszt paraméterei (F_t/D_{ke} , F_t/D_{max} , E/D_{max} , P/D_{max} , P/E) alapján (2010. évi sorozat)	92
23. táblázat	A különböző heteken mért csoportok diszkriminanciaelemzésének keresztvalidációs táblázata az ütésvizsgálati és akusztikus keménységtényező, a vágási keménységvizsgálat (F_v/D_v és M_{DK}/M_K) és kúszás-kirugózás teszt (F_t/D_{ke} , F_t/D_{max} , E/D_{max} , P/D_{max} , P/E) paraméterei alapján (2010. évi sorozat).....	93
24. táblázat	A különböző heteken mért csoportok diszkriminanciaelemzésének keresztvalidációs táblázata az akusztikus keménységtényező, a vágási keménységvizsgálat F_v/D_v , a kúszás-kirugózás teszt F_t/D_{ke} és E/D_{max} paraméterei alapján (2010. évi sorozat).....	94
25. táblázat	A kvázistatikus és dinamikus keménységmérési paraméterek közötti kapcsolat értékei, Durbin–Watson értékek és a determinációs együtthatók	95
26. táblázat	A Durbin–Watson statisztika értékei és a determinációs együtthatók a farész és háncsrész világossági tényező alapján	100
27. táblázat	A Durbin–Watson statisztika értékei és a determinációs együtthatók a farész és háncsrész vörös-zöld és kék-sárga színínger-koordinátái alapján	101
28. táblázat	A hetente mért sárgarépa csoportok diszkriminanciaelemzésének keresztvalidációs táblázata az elektronikus nyelv adatai alapján (2008. évi sorozat)	102
29. táblázat	PLS-kalibráció és keresztkorreláció az elektronikus nyelv mérési eredményeiből....	103
30. táblázat	A minták jellemzése érzékszervi sorrend (összeg) és a Page-teszt eredménye (P)....	104
31. táblázat	PLS-kalibráció és keresztkorreláció a sárgarépa minták érzékszervi tulajdonságaira az akusztikus keménységtényező, a vágási erő és vágási deformáció viszony, terhelőerő és kúszás előtti deformáció viszony, elasztikus deformáció és maximális deformáció viszony és az elektronikus nyelv eredményei alapján	105

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozom a szakmai segítségéért és támogatásáért

- konzulensemnek, **Dr. Fekete Andrásnak**,
- **Dr. Vozáry Eszternek**,
- **Dr. Kovács Zoltánnak**,
- **Dr. Baranyai Lászlónak**,
- a Budapesti Corvinus Egyetem Élelmiszertudományi Kar **Fizika-Automatika Tanszék**
dolgozóinak,
- valamint a **Mezőgazdasági Gépesítési Intézet munkatársainak**.
- **Dr. Némethyné Uzoni Hannának** a Kertészettudományi Kar Zöldség- és
Gombatermesztési Tanszék munkatársának
- **Dr. Reményi Mária Lujzának** a Kertészettudományi Kar Növényteni Tanszék
munkatársának

Külön köszönet illeti **Dr. Felföldi Józsefet** szakmai tanácsaiért, valamint azért, mert biztosította számomra a lehetőséget kutatómunkám befejezéséhez.

Végezetül szeretném megköszönni **szüleimnek**, **testvéremnek** és **páromnak**, hogy a mai napig támogatnak, bátorítanak és biztatnak.