

# ZÁRÓJELENTÉS

A „Mezőgazdasági anyagok rheológiája és felületi jellemzői”  
című az OTKA által támogatott kutatási programról (OTKA 46917)

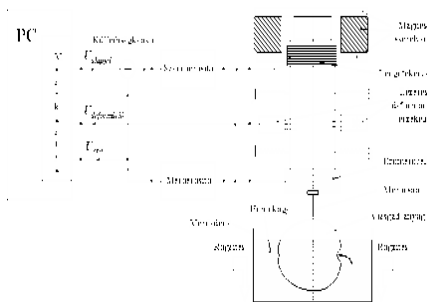
## 1. Bevezetés

A kutatási időszakban sikerült megvalósítani a pályázatban kitűzött célokat az OTKA Iroda és a Mezőgazdasági Gépesítési Intézet (MGI) között létrejött szerződés 2. sz. mellékletében kijelölt feladatokat. Az évente elkészült részjelentések tartalmazták a szakmai eredményeket, amelyek zömét publikációkban adtuk közre. A kiadványokba megtalálható a szakirodalom feldolgozása ezért jelentésemben ezzel nem foglalkozok. A zárójelentésben nem az évente végzett feladatokat és eredményeket ismertetem, mivel egy-egy feladatcsoport művelése nem fejeződött be a megjelölt időszakban, valamint évente adtam le részjelentéseket. A feladatcsoportokról összefoglalóan (az éves tervektől függetlenül) számolok be, megjelölve a „kutatási munkatervben” kijelölt programpontot.

## 2.1 Berendezés ismételt terheléssel történő vizsgálatokhoz

Ismételt terhelések megvalósításához (2005, a, b,) a DyMaTest típusú mérőberendezést alkalmaztuk, amelyet Dr. Petróczky Károly egyetemi docens, villamosmérnök épített fel, az OTKA kutatócsoport tagjaként.

(1. ábra)



1. ábra A DyMaTest típusú mérőberendezés elvi vázlata

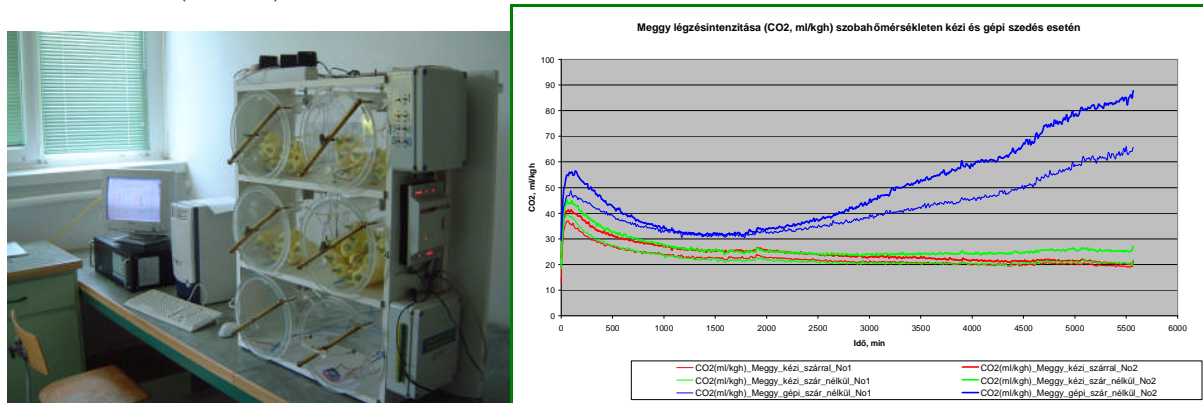
Az elektromechanikus átalakító az analóg villamos jelet erőhatássá transzformálja. A nagyfrekvenciás terhelés miatt kis tehetetlenségű rendszerre van szükség. A szükséges eredményt nagyteljesítményű hangszóró segítségével érték el. A hangszóró csévetestére erősített terhelőszál kis tömegű alumíniumból készült, a speciális egyedi kivitelű indukciós távadó pedig inercia-erőkkel a rendszert alig terheli. Így a berendezés 50 Hz értékig gyakorlatilag torzításmentes. A terhelő egység és a befogott növény – a tartókereten keresztül – zárt rendszert alkotnak, ennek ellenére a mérőelemeket úgy helyezték el, hogy a tényleges hatásokat érzékeljük. A keret – és így az egész terhelő berendezés – saját frekvenciáját merev kivitelezéssel megnövelték, így berezgések a méréstartományban nem fordultak elő.

A terhelőegységet számítógép vezérli, így tulajdonképpen tetszőleges terhelés megvalósítható. A vezérlőprogram a lineáris terhelésen kívül szinusz, háromszög, és négyszög jeleket tud előállítani. A maximális amplitúdó 20 N. A mérési eredményeket is a számítógép fogadja, képernyőn megjeleníti, és alap feldolgozásokat végez el.

## 2.2 Berendezés a gyógyulási folyamat elemzéséhez

A termények sérülésének mértékét, a gyógyulási folyamatot (2004/b) a termény széndioxid-emissziójának alapján értékeltük. Olyan berendezést alakítottunk ki, amellyel – egyidejűleg 6

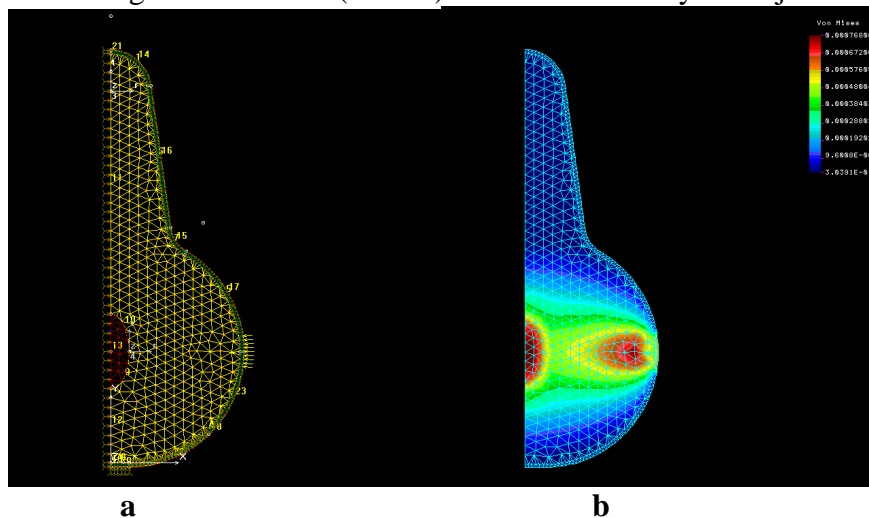
halmaznál lehet nagy pontossággal a széndioxid kibocsátást meghatározni. A berendezést a kutatócsoport tagja Deákvári József villamosmérnök, a Corvinus Egyetemen együttműködve alakította ki. (2. ábra)



**2. ábra** A gyógyulás folyamatának és a sérülés mértékének meghatározásában szolgáló berendezés, és mérési eredmény.

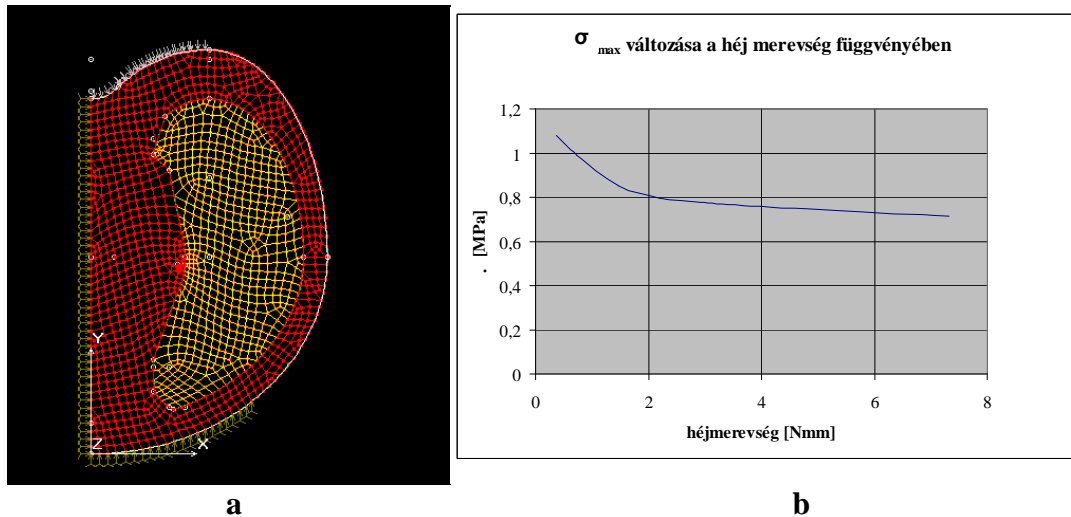
### 3. A termények mechanikai felületi jellemzőinek numerikus analízise, a héj hatásának vizsgálata. (2004/a, 2005, 2006, 2007)

Numerikus analízissel (VEM) kimutattuk, hogy a feszültségek maximumai a terhelési felület réteg alatt, illetve a magháznál vannak (3. ábra) Hasonló eredményekhez jutottunk almánál is.



**3. ábra** A „körte” modell felépítése (a), és a feszültségek eloszlása(b)

Számos numerikus modellszámítás (4. a ábra) alapján megrajzoltuk (4. b ábra) a paradicsombogyóban azonos terhelés hatására fellépő maximális feszültséget a héjmerevség függvényében. Érdekes eredmény, hogy merevebb héj esetén a termény belsejében csökken a maximális feszültség értéke.



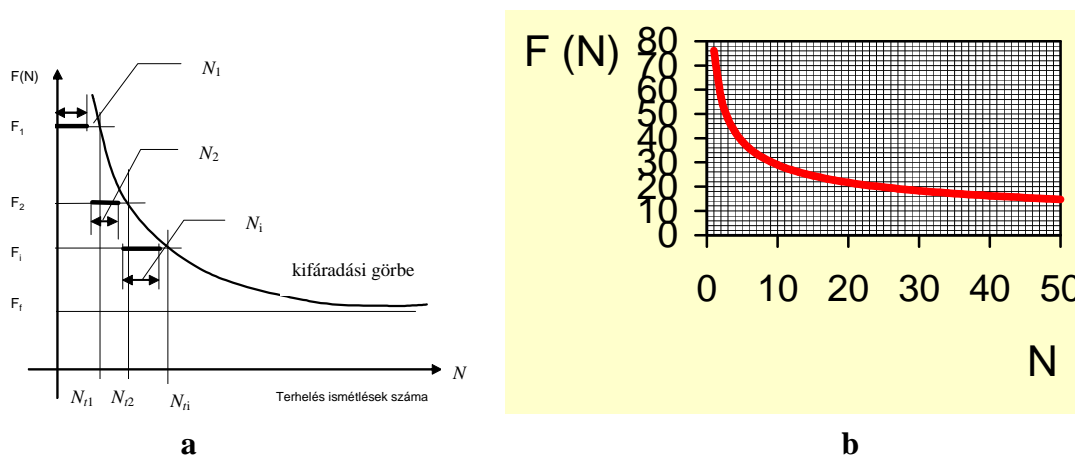
**4. ábra** A héj szilárdsági hatásának modellezése (a), és a héjmerevség és a maximális feszültség kapcsolata adott terhelés esetén (b)

A burgonya esetében is megfigyelhető a terhelés alatti rétegben kialakuló feszültségcsúcs, de más inhomogenitás nincs.

#### 4. Dinamikus és ismételt terhelések hatása (2005, 2006, 2007)

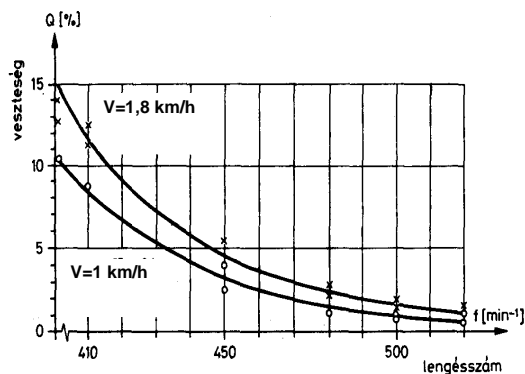
##### 4.1 Ismételt terhelőerő hatása a termény leszakadására

A szőlő-betakarítás során mérésekre alapozott modellszámítást végeztünk a gyorsulások alakulásának, és az átlagtömeg ismeretében a kocsánynál fellépő maximális erő meghatározására.



**5. ábra** Az elméleti kifáradási görbe (a). A szőlőfürt (olaszrizling) kifáradási görbéje (b).

Ismételt terhelés hatására a termény sokkal alacsonyabb erő hatására válik le, mint a szakítóerő. W. Weibull (5. a ábra) kifáradási modelljének alkalmazásával, valóságos szőlőleválasztási folyamat (6. ábra) figyelembevételével sikerült összefüggést felállítanunk a szőlőfürt kocsány kifáradására (5. b ábra).



6. ábra Veszteség a rázóujjak lengésszámának függvényében.

Adott (N) terhelés ismétlése estén a leválást előidéző erő az alábbi összefüggéssel számolható:

$$F = F_f + \frac{K}{N}$$

A vizsgált *olaszrizling* fajtánál  $F_f$  értéke 17 N, és  $K$  értéke 56 N.

#### 4.2 Dinamikus terhelés hatása

Mérésekkel, és matematikai úton is igazoltuk, hogy az almás termésű gyümölcsök, valamint gumós zöldségek nyomó terhelés-alakváltozás állapota jól jellemezhető a Poynting-Thomson anyagegyenlet felhasználásával. Így a terhelőerő és az alakváltozás közötti kapcsolat egy adott hengeres csap esetén:

$$w_0 = \gamma \left\{ F - F \left( \frac{\lambda}{E} - \Theta \right) \left( 1 - e^{-\frac{E}{\lambda} t} \right) \right\}$$

egyenlettel leírható.

Itt  $\gamma$  a termény rugalmas, a  $\Theta$  pedig a relaxációs viselkedését jellemző tényezők.

Bebizonyítottuk, hogy lassú terhelés mellett:

$$\dot{F} \rightarrow 0 \text{ esetén } w_0 = \gamma F, \text{ a test lineárisan rugalmasan viselkedik.}$$

Gyors terhelésnél esetén pedig:

$$\dot{F} \rightarrow \infty$$

$$\frac{\lambda}{E} = \Theta \rightarrow E_\infty = \frac{\lambda}{\Theta} \text{ esetén } \gamma_\infty = \frac{\gamma \Theta}{\left( \frac{\lambda}{E} \right)}, \text{ tehát a test ebben az esetben is rugalmasan}$$

viselkedik!

A mérési eredmények alapján meghatározott rendszer paramétereiket a 1. táblázatban foglaltuk össze.

1. táblázat: Néhány növény dinamikus rheológiai jellemzői

Termény	$\gamma$ (mm/N)	$\lambda_0$ $\left( \frac{Ns}{mm} \right)$	$\Theta$ (s)	$\gamma_\infty$ (mm/N)
Burgonya (Desiree)	0,047	953,8	40,1	0,042
Alma (Jonathan)	0,09	1811	97,86	0,054
Paradicsom	0,22	73,9	11,1	0,015
Őszibarack	0,28	95	9,4	0,098
Körte (Vilmos)	0,13	136,1	13,6	0,099

### 4.3 Ismételt nyomóterhelés hatása (2005)

Definiáltuk, és elméleti úton, valamint mérésekkel bizonyítottuk a „dinamikus kúszás” jelenségét, amely állandó amplitúdójú és frekvenciájú ismételt terhelésnél lép fel. A jelenség lényege, hogy az ismételt leterhelés ellenére a felső és alsó alakváltozási burkoló görbe a statikus kúszásgörbéhez hasonló! Hengeres nyomócsappal végzett szinuszos terhelés esetén, a PT test anyagegyenletét feltételezve a dinamikus kúszást leíró egyenletek, a terhelés-alakváltozás összefüggés alsó és felső burkológörbéi:

$$w_{zMIN} = b \left[ \frac{1}{a} (1 - e^{-at}) - \frac{r}{a^2 + \omega^2} (1 + \sin(\beta) \cdot e^{-at}) \right],$$
$$w_{zMAX} = b \left[ \frac{1}{a} (1 - e^{-at}) + \frac{r}{a^2 + \omega^2} (1 - \sin(\beta) \cdot e^{-at}) \right],$$

egyenletekkel írhatók le.

Az összefüggéseknél az alábbi jelöléseket alkalmaztuk:

$$r = \sqrt{(a + \Theta\omega^2)^2 + (a\omega\Theta - \omega)^2}, \quad \operatorname{tg}\beta = \frac{a\omega\Theta - \omega}{a + \Theta\omega^2}, \quad a = \frac{1}{\gamma\lambda_0}, \quad b = \frac{F_A}{\lambda_0},$$

(F a terhelés amplitúdója, a terhelés szögsebessége).

Mérésekkel igazoltuk, hogy a dinamikus kúszás esetén a tönkremenetel könnyebben következik be háromszög, illetve négyszög ismétlődő terhelés hatására.

### 5. Az ejtővizsgálatok eredményei (2004.a, c, 2007)

Arra a kérdésre keressük a választ, hogy valamely (roncsolásmentesen mérhető) tulajdonság *miként és mennyire* alkalmas egy kísérlettel megállapítandó másik (roncsolással becsülhető) tulajdonság előrejelzésére, ha ez utóbbi egy karakterisztikus valószínűségi változó. Közelebbről: keressük a paradicsombogyó tömege és keménysége hatásának erősségét. A kérdés itt az, hogy egy kézbevett bogyó nevezett tulajdonságának megmérése alapján mit lehet mondani a leejtett bogyó repedéssel jellemzett viselkedéséről, azaz a dinamikus terheléssel szembeni ellenálló képességéről. A *hatás erőssége* tehát nem más, mint a választott tulajdonságra alapozott jövőbeni (várható) viselkedés prognosztizálhatóságának a mértéke.

Eredmények:

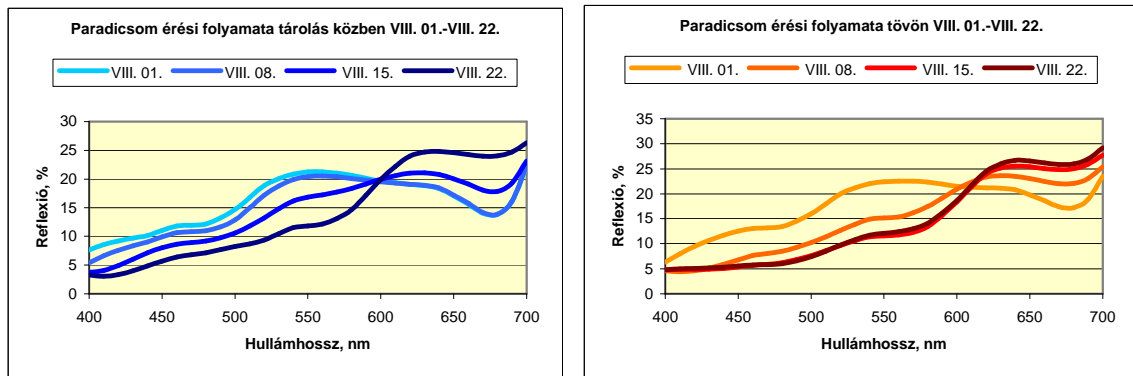
- a várható értékek különbsége szükséges feltétele a repedt-nem repedt állomány valamely tulajdonság szerinti eloszlása szétválásának, de nem mérőszáma a hatás erősségének: ehhez az egyedi értékekhez tartozó eloszlások szétválásának mértékét kell megtalálni;
- modellképzés a hatás erősségének megítélésére az egyedi értékek sűrűségfüggvényének felhasználásával;
- megmutattuk a jelenség szimmetriáját;
- kétváltozós – várható érték és szórás – eloszlás esetén feltételeket találtunk annak két eloszlásra bontására az eloszlás paramétereire vonatkozóan;
- példákat adtunk előbbi szétbontás bemutatásaként.

### 6. A felület optikai jellemzői és a biológiai állapot kapcsolata (2005, 2007)

Az intenzív öntözéses, fóliatakarásos, támrendszeres eljárással nevelt étkezési paradicsomfajta (*Fanny*) különböző kiinduló állapotú – zöld, félérett, érett – bogyójának érésmenetét azonosított egyedek tövön (in vivo) történő mérésével követtük

A mérések öt hete során négy alkalommal tárolásra is leszedtünk bogyókat. Így a tövön folyamatosan érő, különböző állapotú egyedek mérése mellett a leszedett és egyre hosszabb tárolásnak alávetett egyedek jellemzőit is meghatároztuk. A mérésorozat elsősorban számozott – azonosított – bogyók egyedi tulajdonságai mérésének céljából történt. 10-10 bogyó alkotott egy-egy csoportot, amelyek tulajdonságait statisztikailag is értékeljük. A mérésekkel a tövön fejlődő-érő bogyók egyes tulajdonságainak in vivo vizsgálata és a tárolás során azok alakulásáról akarunk képet kapni.

- tövön: geometria, keménység, reflexiós spektrum;
- tároláskor: tömeg, keménység, reflexiós spektrum.



**7-8. ábra.** A zöldnek talált bogyók (2006) reflexiós spektrumának változása négy mérési alkalommal: tövön illetve tárolva (~10°C)

A reflexiós spektrum alapján a zöld mintacsoporton végeztük a vizsgálatokat, mely az elemszámból adódóan 3 hetes időintervallumot jelentett. Reflexiós színmérésre a Minolta CM503i típusú, 400-700 nm tartományban reflexiós spektrumot előállító kézi műszert használtuk. A mintahalmazok mérések kezdetekor végzett összeállításánál is a színmérővel képeztük a csoportokat.

A kiindulási állomány a konfidencia intervallumát tekintve homogénnek mondható. Az érés első szakaszában a 600-700 nm-es hullámhossztartományban a reflexió monoton növekvő tendenciát mutatott, mind a tövön mind a tárolt egyedek esetében. A tövön érők azonban mintegy 10 nappal hamarabb elérték az érett stádiumot. A tárolt és a tövön érők közti érési különbség 20 nap után kiegyenlítődött. Az érett stádiumba került paradicsomok esetében a reflexió az említett 600-700 nm-es tartományban monoton csökkenő tendenciába ment át. Ez jellemző mind a tövön mind a tárolt paradicsomoknál. A 600 nm alatti hullámhossztartományban a reflexióra az érés egész folyamata alatt csökkenő tendencia jellemző. Az optimális érési állapot meghatározásához a 600-700 nm hullámhossztartomány bizonyult használhatónak.

### **7. Éretten/éretlenül leszedett, színükben információt hordozó termények spektrumában a tárolás során tapasztalható változások mérése (2006-2007)**

Az intenzív öntözéses, fóliatakarásos, támrendszeres eljárással nevelt étkezési paradicsomfajta (*Fanny*) különböző kiinduló állapotú – zöld, félérett, érett – bogyójának érésmenetét tövön azonosított egyedekkel mérve követtük (2006 nyara).

A mérések ~öt hete során négy alkalommal tárolásra is leszedtünk bogyókat. Így a tövön folyamatosan érő, különböző állapotú egyedek mérése mellett tárolásra leszedett egyedek jellemzőit is meghatároztuk. 10-10 bogyó alkotott egy-egy csoportot, amelyek tulajdonságait statisztikailag értékeltük. Kísérleteket megzavarta a közben elszenvedett lopáskár. A mérésekkel a tövön fejlődő-érő bogyók egyes tulajdonságainak in vivo vizsgálata illetve a leszedettek tárolása során azok alakulásáról akarunk képet kapni.

A bogyón mért jellemzők:

- tövön: geometria, keménység, reflexiós spektrum;

- tároláskor: tömeg, keménység, reflexiós spektrum, részben térfogat.

Általánosan azt mondhatjuk, hogy a tenyészidő szerint minél későbbi időpontban érik be a bogyó, annál kevésbé alkalmas tartós tárolásra.

Tömeg:

- a tövön érés vizsgálatainál sem az idő, sem az érettségi állapot szerint a vizsgált időszakban nem lehet tömegük várható értékében különbséget kimutatni, s következményként ugyanez állítható a relatív tömegváltozásra is;
- a hűtve tárolás során a tömegváltozás lefolyása sem mennyiségileg, sem minőségileg nem mutatott szignifikáns különbséget, azonosnak tartható törvényszerűség vezérli a folyamatot.

Keménység:

- mint az várható, szignifikáns különbséget mértünk az érettség szerinti csoportok keménysége között. Az éretlenek várható keménysége legalább kétszerese a másik kétállapotúakénak, és a félérett is határozottan elkülönül az érettől;
- azt találtuk, hogy a félérettek keménységének a legnagyobb a bizonytalansága. Az eredmény utalhat arra is, hogy a szín alapján történő kiválasztás a féléretteknél a keménység tekintetében sokkal szélesebb skálán mozoghat szemben a másik kettővel;
- a legelső szedést követő tárolás során szignifikánsan csökkenő keménységet mértünk függetlenül a kezdeti érettségi állapottól;
- a tároláskor a félérettek keménysége jó közelítéssel egy hét késéssel követi az érettek keménységét;
- ha elfogadjuk a tárolás során a keménységcsökkenés stabilizálódó jellegét, akkor az érett és félérett bogyók korábbi keménységük 25%-át veszítik el hetente, de a zöldek ezt az ütemet mintegy két hét késéssel és fokozatosan növekedve érik el;
- a keménységcsökkenés minőségéről azt írhatjuk, hogy a félérettnél találtunk hasonló jelleget a tövön érés és a tárolás között, az érett és az éretlenek különbözőképp viselkedtek tövön és tárolva.

Bogyósűrűség:

- a Fanny fajta egyetlen bogyó kivételével vesztett sűrűségéből, míg az F1 esetén pontosan a fordított eset realizálódott, de a bogyósűrűségek várható értékeinek a két időpont közötti különbségét a mérések még egyik fajtánál sem támasztják alá szignifikáns módon;
- az első időpontban a fajták szerint egyezőnek vehető sűrűség szignifikánsan különbözővé vált a hét elteltével ( $P=95\%$ ). Ennek oka, hogy a két fajta ellenkező irányú változást mutat;
- azt találtuk, hogy e két fajta esetén a sűrűségváltozásban a térfogatváltozás a fő-, a tömegcsökkenés a mellékszereplő;
- mindkét fajtára fenntartjuk azt a hipotézist, hogy nagyobb bogyótömeghez általában kisebb bogyósűrűség tartozik.

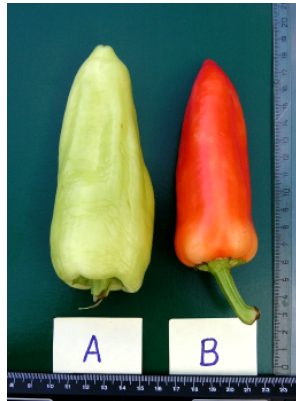
Becsült bogyótérfogat:

- a bogyók alakját ellipszoiddal modellezve azt kaptuk, hogy akár a 'gömbölyded-zömök' Fanny, akár a 'hosszúkás-karcsú' F1 fajta esetén 5-7%-kal alábecsüljük a valódi térfogatot: ezt felhasználva a becslés korrekciójára – tömeges mérések esetén – a relatív hiba abszolút értékének átlaga 2-3% körülire várható a fenti típusú bogyóalakok esetén.

### **8. A felület geometriája: módszer kidolgozása és alkalmazása közel forgásszimmetrikus testek felületének becsülésére a paprika példáján (2005, 2006)**

A paprika bogyója a szedést követően biológiailag továbbra is aktív, felülete az egyik főszereplő (hő- és nedvességháztartás,  $\text{CO}_2$  forgalom). Az összehasonlításhoz fajlagos jellemzőkre van szükség, s ezért a paprika felületének meghatározása matematikai-, mérés- és

számítástechnikai feladat: ezzel foglalkoztunk annak a módszernek más irányú megközelítése kapcsán, amellyel a német kutatók a *Cavalieri elv* felhasználásával a bogyó fényképe alapján becsülik a felületét (9. ábra)



**9. ábra.** Két paprika felületének meghatározása: balról 110, jobbról 87 cm<sup>2</sup> adódott a tórusz- és a kúpjelleg figyelembevételével

Számításba vettük a kúpszerű paprika alakjának hatását, erre vonatkozóan alapvetően az átmenet tóruszjellegének figyelembevételével korrekciókat adtunk meg, amelyeket két különböző egyedre alkalmaztunk is. Ennek során két paprika felületét határoztuk meg: 110 illetve 87 cm<sup>2</sup> adódott a tórusz- és a kúpjelleg figyelembevételével. Javasoltunk egy új másik módszert is, amelynek lényege, hogy  $n$  felvételt készítve, a kontúrt véletlen alakzatként értelmezve valamint a bogyót forgástestként modellezve (a *Guldin tétel* alkalmazásával) meghatározzuk a felület véletlennek adódó nagyságát, majd a szórás felhasználásával becsüljük annak várható értékét.

Ezek után a paprika felszínének fényképekre alapozott a számítógépes képfeldolgozásával foglalkoztunk. Noha alkalmazhatunk Moiré vagy sztereo képeket is, mi csak az egyszerű fotókra alapoztunk. Az egyes paprikákról 5 db 45°-os elforgatással képeket készítettünk. Olyan módszert dolgoztunk ki, amellyel lehetséges a paprika háromdimenziós rekonstrukciója. Az algoritmust optimalizáltuk, hogy a lehető legpontosabb eredményt kapjuk, de kellően gyors is maradjon. A 3D rekonstrukció után meghatároztuk a paprikák felületét és térfogatát is. A referencia módszert keresve megállapítottuk, hogy erre a legalkalmasabb eljárás a paprika feldarabolása és kiterítése, majd az 'elemi felületeknek' a fényképezésre és számítástechnikára alapozott módszerrel végrehajtott összegzése. Eljárásunk hibája nem haladta meg a 2.1% -ot. Módszerünk korlátja a túlzottan irreguláris forma.

## **9. A levél jellemzők és a tápanyag- ellátás kapcsolata (2006, 2007)**

Az MGI rendelkezik egy csúcstechnológiát képviselő távérzékelési eszközzel, az AISA DUAL hiperspektrális szenzorral. A berendezés 400-2400 nm hullámhossz tartományban képes érzékelni, ezen belül a látható tartományban igen nagy, 1 nm-es pontossággal. A berendezés képes egy adott hullámhosszon képet készíteni, ahol a denzitás eltéréssel a reflexió változását láthatjuk „képszerűen”. A felvett objektum bármely pontjáról spektrum függvényében fel tudjuk rajzolni a a reflektancia változását. A talaj és a növényi levél esetében megállapíthatjuk, hogy a reflektanciát markánsan befolyásoló anyagi összetevő hiányában a beltartalmi jellemzőket jobban tudjuk integrális optikai tulajdonságokkal (pl. szín) meghatározni, mint differenciálisokkal (pl. a spektrum adott pontjaiban mérhető reflektanciákkal).



A szín összetevőket a következő összefüggésekkel számolhatjuk ki egy adott felületi ponton:

$$X_{x,y} = A \int_{380}^{780} P_c(\lambda) \rho(\lambda, x, y) \bar{x}(\lambda) d\lambda, \quad Y_{x,y} = A \int_{380}^{780} P_c(\lambda) \rho(\lambda, x, y) \bar{y}(\lambda) d\lambda, \quad Z_{x,y} = A \int_{380}^{780} P_c(\lambda) \rho(\lambda, x, y) \bar{z}(\lambda) d\lambda.$$

A képletekben „A” állandó,  $P_c(\lambda)$  a megvilágítás spektrális teljesítmény eloszlása,  $\rho(\lambda, x, y)$  a megfigyelt test felületéről reflektált teljesítmény eloszlás;  $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$  mennyiségek a spektrumszínek CIE eloszlási együtthatói, amelyek a színtartományokba való transzformációt biztosítják. Az aktuális megvilágítás ( $P_c(\lambda)$ ) a naptól származik, amely napszakonként változik, értékét a légkör is befolyásolja. A  $P_c(\lambda)$  aktuális értékét, és a reflektált energiát a felületi pontokon  $\rho(\lambda, x, y)$  a hiperspektrális szenzor méri. A bábolnai B 22-es tábláról a fedetlen talajfelszínről, valamint a kukoricaérés végén, augusztusban a növényzetről repülőgépről készítettünk légi felvételeket A táblán 100x100 méteres rácspontokon vettünk talajmintát a beltartalmi vizsgálatokhoz, valamint adott helyeken 1 m<sup>2</sup>-ről összegyűjtött növényzet tömegét határoztuk meg.

A felvételek felhasználásával az egyes színjellemzőket határoztuk meg. A talaj mért humusztartalma (H, %) és a talajfelszínről készített 256-os beosztású skálán jellemzett vörös színérték között találtuk a legszorosabb kapcsolatot:

$$Z = 99740,6 \exp(-3,18 H), \quad R^2 = 0,901. \quad \text{A terméshozam (g/m}^2\text{) és a levélfelületről készült felvételek zöld színjellemzője közötti kapcsolat szintén szoros: } Y = 239,8 \exp(-0,00016 G), \quad R^2 = 0,86.$$

A talajvizsgálati eredmények alapján a foszfor és a kálium tartalom igen jó volt, a nitrogén ellátottság viszont közepes. Mivel ilyenkor különösen meghatározó a talaj N ellátottsága a talaj-növény rendszerben a termésmennyiség – humusztartalom – nitrogénellátottság között kerestünk kapcsolatot:

$$N = 0,039 - 0,0013H + 7,361 \cdot 10^{-6} G, \quad R^2 = 0,966 \quad \text{Az „N” a talaj nitrogéntartalma (g/kg).}$$

A talaj nitrogéntartalmának területi eloszlása tehát kalkulálható csupán távérzékeléssel, és ismert helyeken végzett talaj vizsgálatokkal, és a terméshozam ismeretében.

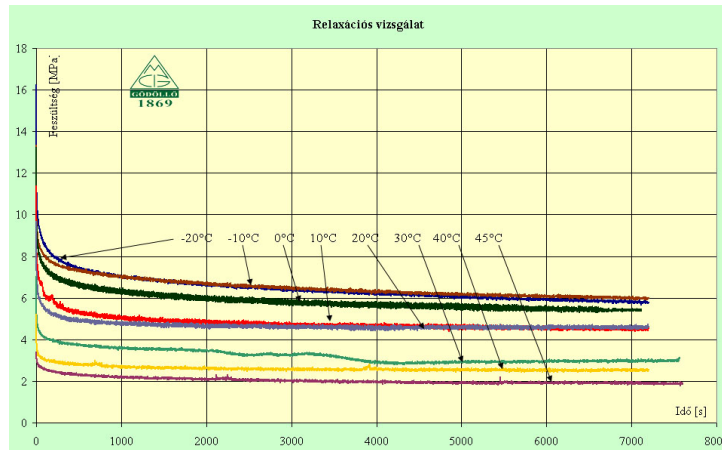
## 10. A rheológiai anyagegyenletek pontosítása mezőgazdasági fóliáknál (2005, 2007)

A nemlineáris hatásokról, az UV sugárzás következményeiről korábbi jelentéseinkben számoltunk be, most a hőmérséklet hatását elemezzük. A műanyagok terhelés hatására az idő függvényében elhúzódó deformációt vagy feszültségváltozást szenvednek. Az úgynevezett kúszási és ernyedési folyamatokat követni képes, legegyszerűbb lineáris anyagmodell a Poynting-Thomson formáció, amelynek végleges formája egytengelyű állapotban:

$$\sigma = E\varepsilon + \lambda\dot{\varepsilon} - \vartheta\dot{\sigma}, \quad \text{amit a fóliák rheológiai tulajdonságai változásának megállapításához}$$

használtunk fel. Ahol:  $\sigma = \sigma(t)$  a feszültség [MPa],  $\varepsilon = \varepsilon(t)$  a fajlagos nyúlás [-],  $\dot{\sigma}$  és  $\dot{\varepsilon}$  a fentiek időszerinti deriváltjai,  $\vartheta, E$  a differenciálegyenlet paraméterei.

A vizsgálatokat egy INSTRON 5581-as típusú anyagvizsgáló géppel végeztük kiegészítve egy INSTRON 3119 típusjelű, folyékony széndioxidos klímaberendezéssel. A hőmérséklet 45°C és -20°C között volt. A fóliát gyors 500 mm/min-es sebességgel megnyújtottuk 5 mm-rel ( $\varepsilon_a = 0,05$ ) majd a rendszert magára hagytuk 120 percre. A mért és számított eredmények mellőzésével a 10. ábrán a különböző hőmérsékleten mért relaxációs görbék láthatóak.



10. ábra A különböző hőmérsékleten mért relaxációs görbék.

### Összefoglalás

A kutatási program célja a növények, termények és a termesztésben használt mezőgazdasági fóliák mechanikai, fizikai felületi jellemzőinek meghatározása volt. A kutatás eredményeként tisztáztuk a rheológiai tulajdonságokkal rendelkező növények felületének szilárdsági viselkedését a különböző terhelések (statikus, dinamikus, ismétlődő) és a biológiai állapotok függvényében. A mérésekhez berendezést építettünk. Modellt állítottunk fel a mezőgazdasági fóliák mechanikai jellemzésére, a környezeti hőmérsékleti, öregedési hatások figyelembevételével. A sérült növények gyógyulási folyamatának jellemzéséhez mérőberendezést és módszert fejlesztettünk. A növények alakjának felismerésére és jellemzésére matematikai modellt állítottunk fel. A növény felszíni reflexiók jellemzői és a biológiai tulajdonságok között kapcsolatokat tártunk fel. Az eredményeket a hiperspektrális távérzékelésben hasznosítottuk. A program keretében egy DSc dolgozat több fejezete, és egy PhD dolgozat készült.