

**SZENT ISTVÁN EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
MÉRÉSTECHNIKA TANSZÉK**

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

**KERTÉSZETI TERMÉNYEK SÉRÜLÉSÉNEK VIZSGÁLATA
DYMATEST MÉRŐCSAPOS ANYAGVIZSGÁLÓ
BERENDEZÉSSSEL**

Készítette: **FARKAS CSABA**
II. évf. MSC hallgató

Témavezető: **DR. PETRÓCZKI KÁROLY**
egyetemi docens



**Gödöllő
2012**

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	2
2. Témafelvetés	2
3. Szakirodalmi áttekintés	3
3.1. A reológia alapjai, anyagmodellek	3
3.1.1. Ideális anyagmodellek	3
3.1.2. Összetett anyagmodellek	4
3.1.3. Kúszás és relaxáció	5
3.2. Mezőgazdasági anyagok mechanikai sérülései	7
3.2.1. A tönkremenetel	7
3.2.2. Az ütközés	7
3.2.3. Egyes tényezők hatása a sérülékenységre	8
3.2.4. Dinamikus és ismétlődő terhelés	10
3.3. Terményvizsgáló berendezések, módszerek	11
4. Anyag és módszer	14
4.1. A DyMaTest és mérési összeállításának felépítése	14
4.2. A mérésekhez használt PC szoftver	16
4.3. Műszaki paraméterek összefoglalása	18
5. Mérési eredmények és azok értékelése	19
5.1. Az első mérési sorozat	19
5.2. A második mérési sorozat	21
5.2.1. Vilmos körték egyéb jellemzőinek meghatározása	21
5.2.2. Terhelőcsapos vizsgálatok a 2. mérési sorozat során	22
5.3. A nedvességtartalom meghatározása	24
6. Összefoglalás	26
6.1. Eredmények	26
6.2. További célkitűzések	26
Irodalomjegyzék	28
Ábrajegyzék	30
Táblázatok jegyzéke	33
Mellékletek	34

1. Bevezetés

A szállítási és feldolgozási folyamatok során a mezőgazdasági és kertészeti terményeket különböző mechanikai behatások érik. A termények gépelemekkel és egymással történő ütközése közben a növény felszínén vagy felszíne alatt sérülések jönnek létre, amelyek jelentős minőségromláshoz, illetve tönkremenetelhez is vezethetnek.

A terhelő erők sérülést, tönkremenetelt okozó határértékeinek ismeretében a szállítás és feldolgozás során alkalmazott módszerek befolyásolhatók, így ezek pontos meghatározása fontos szempont.

A terményeket legtöbb esetben penetrációs vizsgálatoknak vetik alá, melyek során egy mérőcsappal nyomást fejtenek ki a termény felületén, vagy magában a terményben. A mérések után regisztrálják a növény anyagának deformációját, amelyből az anyagtulajdonságokra vagy a sérülésre vonatkozó következtetések vonhatók le.

2. Témafelvetés

A terményeket legtöbb esetben dinamikus hatások érik, a szállítás során a terményhalmaz ismételt igénybevételi hatásnak van kitéve. Dolgozatomban a 10 Hz-ig terjedő frekvenciatartományban történő ismétlődő terhelések hatására bekövetkező tönkremenetellel foglalkozom, elsősorban Vilmos körték esetében. (A szakirodalomban a különböző termények sérülésvizsgálatait eddig általában magasabb frekvenciákon végezték).

A terményeket a Mezőgazdasági Gépesítési Intézetben található DyMaTest nyomócsapos mérőberendezéssel vizsgáltam, mellyel többféle alakú, egyszeri és periodikus lefutású erő előállítása is lehetséges. A kiadott terhelés hatására a műszerrel rögzíthető a vizsgált anyag deformáció-idő függvénye, amely alapján meghatározható a tönkremenetel, azaz a külső héj átszakadásának kezdete, amelyet a dolgozat során tönkremeneteli határpontnak definiálunk.

A TDK munka célja meghatározni, hogy a vizsgált frekvenciatartományban a terményfelület tönkremeneteli határpontja milyen összefüggésben van a dinamikus terhelő-erő függvény frekvenciájával, amplitúdójával és jelalakjával.

3. Szakirodalmi áttekintés

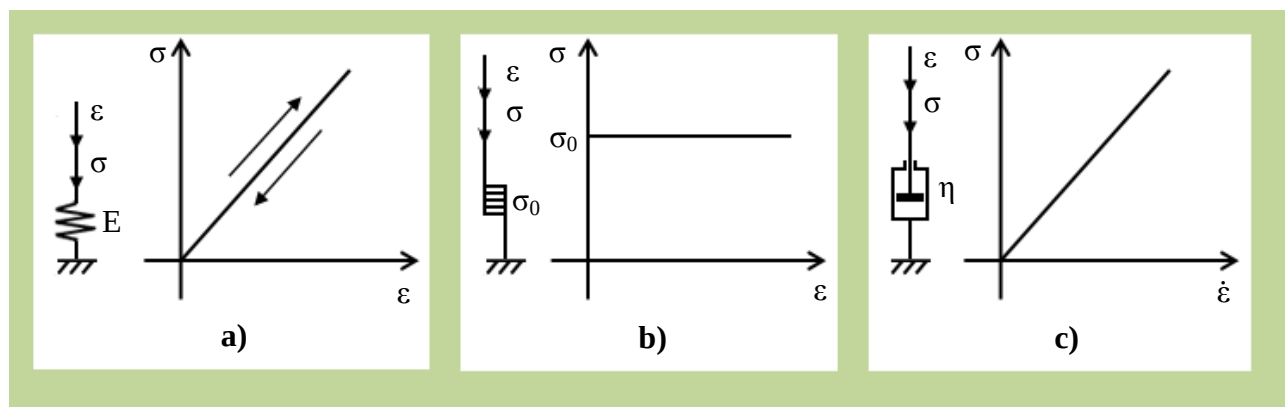
3.1. A reológia alapjai, anyagmodellek

A reológia tárgya az anyagok deformációjának és áramlásának vizsgálata. Az áttekinthetőség céljából az anyagokat bizonyos alaptulajdonságok alapján csoportokra lehet osztani: az elaszticitás (rugalmasság), a képlékenység és a viszkozitás a három alapvető tulajdonság, amellyel az anyagok reológiai viselkedése jellemezhető. [18]

3.1.1. Ideális anyagmodellek

Rugalmas alakváltozás során a terhelést és a tehermentesítést azonos függvény írja le. A terhelés megszűnésekor az anyag tökéletesen visszanyeri alakját, vagyis az alakváltozás során energiaveszteség nem lép fel. Az alakváltozás nagysága csak a pillanatnyi terheléstől függ és ebben az idő nem játszik szerepet. A homogén és izotrop anyag esetén lineáris kapcsolatot leíró anyagmodellt Hooke-testnek nevezzük, állapotegyenlete egytengelyű feszültségállapotnál [8]:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (3.1)$$



3.1. ábra: Hooke-test (a), St. Venant-test (b) és Newton-test (c) erő-deformáció diagramja. [8]

A rugalmas alakváltozás modellezésére a rugó alkalmas (3.1./a ábra). Az „E” modulusu rugó terhelés hatására azonnal megnyúlik, a terhelés megszűnése után pedig a nyúlás azonnal eltűnik. [13][14]

Ideálisan képlékeny anyagnál az alakváltozást csak meghatározott nagyságú feszültség idézheti elő, és a feszültség megszűnésekor az alakváltozás nagysága változatlan marad.

Az alakváltozás nagyságának létrejötte független az időtől, vagyis igen rövid idő alatt is bekövetkezhet. Az ideálisan képlékeny anyagmodellt St. Venant-testnek nevezik, amelynek állapotegyenlete egytengelyű feszültségállapot esetén $\sigma = \sigma_F$. [8] Jele egy súrlódásos kapcsolat (3.1./b ábra).

Az ideálisan viszkózus anyagmodellnél a feszültség és az alakváltozás közötti kapcsolat az időnek is függvénye. Az időben változatlan nagyságú feszültség az anyagban állandóan növekvő alakváltozást idéz elő. Ha a feszültség és az alakváltozás sebessége közötti függvénykapcsolat lineáris, akkor az anyagmodellt lineárisan viszkózusnak, ellenkező esetben nemlineárisan viszkózusnak nevezzük. A lineárisan viszkózus anyagmodellt Newton-testnek nevezik. Egytengelyű feszültségi állapot esetén:

$$\sigma = \eta \cdot \dot{\epsilon} \quad (3.2)$$

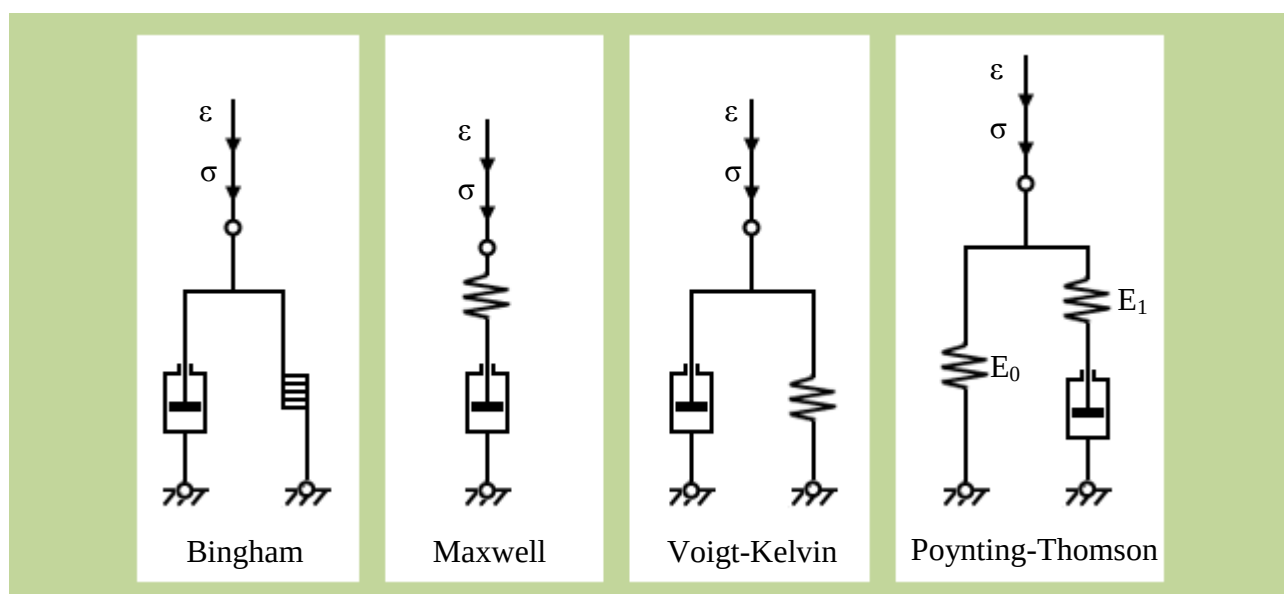
Ahol: η – viszkozitási tényező [Ns/m^2]

Az anyagmodell az η viszkozitású folyadékkal telt dugattyús hengerrel modellezhető (3.1./c ábra), itt az erő a sebességgel arányos mennyiség. [8]

3.1.2. Összetett anyagmodellek

Mivel az ideális anyagmodellek csak durván írják le a valóságos anyagokban lejároló folyamatokat, ezért az anyagok viselkedését gyakran az ideálisan rugalmas, képlékeny és viszkózus modellelemekből összeállított modellrendszerekkel közelítjük. A valóságos anyagok általában magukon viselik a három alaptulajdonságot (rugalmas, képlékeny, viszkózus), így általános modellként az elasztoviszkoplasztikus modell tekinthető. Ezeket a modelleket összefoglaló néven reológiai modelleknek nevezzük. Legismertebb reológiai modellek: Bingham-modell, Maxwell-modell, Voigt-Kelvin-modell, Poynting-Thomson-modell (3.2. ábra). [8]

A biológiai anyagok szembeötlő tulajdonsága, hogy a feszültség-deformáció összefüggés a deformáció sebességétől is függ. Az olyan anyagokat, ahol az időhatással is számolnunk kell, viszkoelasztikus anyagoknak nevezzük. Ezek az anyagok részben szilárd testek, részben pedig a folyadékok tulajdonságaival rendelkeznek [18], ezért a viszkoelasztikus modellek a Hooke- és a Newton-modellekből sorosan, párhuzamosan vagy vegyesen kapcsolt modellek összessége. [8]



3.2. ábra: A legismertebb reológiai modellek. [8]

Egyes anyagoknál és viszonylag kis terheléseknél a feszültség és deformáció viszonya egyedül az idő függvénye, de a feszültség nagyságától nem függ. Az ilyen anyagokat lineáris viszkoelasztikus anyagoknak nevezzük. Sok mezőgazdasági anyagnál, amikor a terhelés okozta deformáció nagy része a tehermentesítés során nem nyerhető vissza, a feszültség-deformáció viszony az idő mellett a feszültség nagyságától is függ. Ilyenkor nem-lineáris viszkoelaszticitásról beszélünk. Sajnos, a mezőgazdasági anyagok jelentős része ide sorolható. [18]

3.1.3. Kúszás és relaxáció

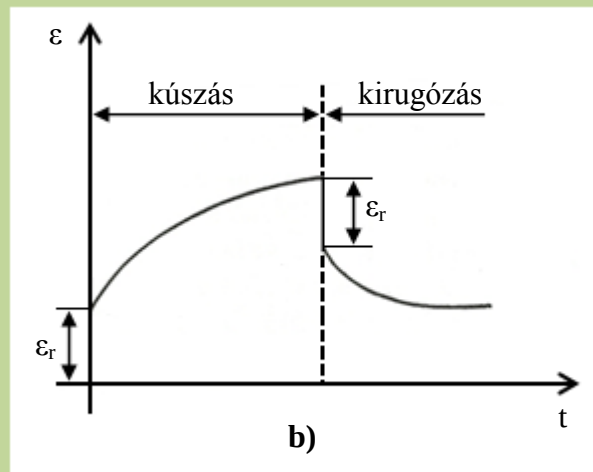
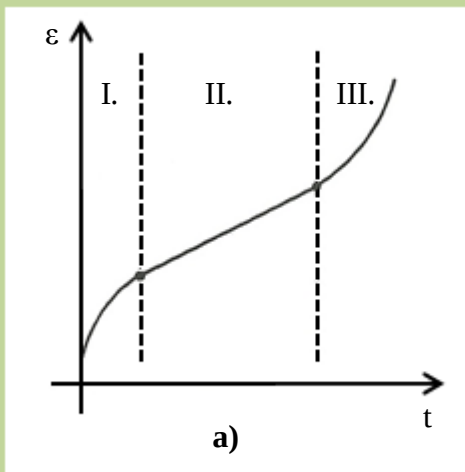
Kúszáson az anyagok folyamatos deformációját értjük állandó feszültség hatására. A folyamatban általában három jellegzetes zóna különíthető el: az első fázisban a deformáció csökkenő, a másodikban közel állandó, míg a harmadikban növekvő sebességű (3.3./a ábra).

Tetszőleges t időpillanatban a deformáció (relatív nyúlás) a pillanatnyi rugalmas és kúszási deformációból tevődik össze:

$$\varepsilon = \varepsilon_r + \varepsilon_k \quad (3.3)$$

A kúszás jellemzésére a deformáció sebesség szolgál, amelyet differenciálással kapunk:

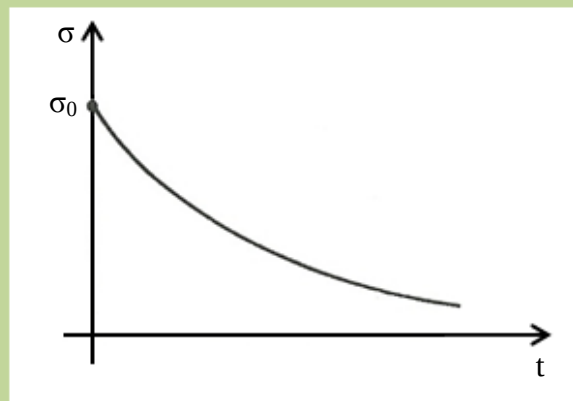
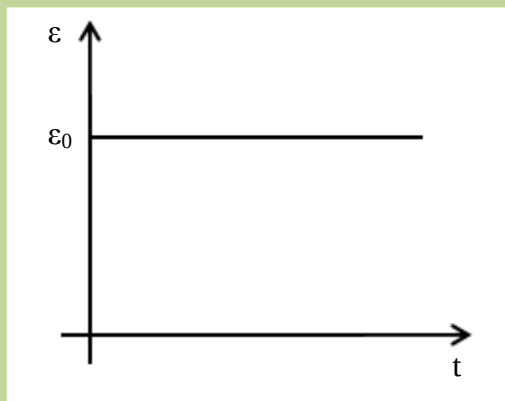
$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \dot{\varepsilon} \quad (3.4)$$



3.3. ábra: A kúszás fázisai (a), kúszás és kirugózás (b). [8][18]

Kirugózás: a terhelés ráadása és t_1 idő eltelte után történő levétele következtében alakváltozás marad az anyagban, az nem nyeri vissza eredeti alakját. Ugyanakkor az idő függvényében ez a maradó alakváltozás csökken. Ez a t_1 terhelési idő függvényében aszimptotikusan tarthat a zérushoz és egy tartós maradó alakváltozáshoz is (3.3./b ábra). [8]

A viszkoelasztikus anyagok egy másik jellemző tulajdonsága, hogy állandó deformáció esetén a feszültség az idő függvényében fokozatosan csökken (3.4. ábra)



3.4. ábra: A relaxációs folyamat. [18]

A relaxáció jellemzésére a T_r relaxációs idő szolgál, amely azt az időt jelenti, amely alatt az eredetileg létrehozott σ_0 feszültség $1/e$ -ed részére (kb. 37 %) csökken. [8][18]

3.2. Mezőgazdasági anyagok mechanikai sérülései

3.2.1. A tönkremenetel

Biológiai anyagoknál a sejtszerkezetben keletkező szakadás kezdetét a „biológiai folyáshatár” jelzi. Ezért első közelítésben mondhatjuk, hogy sérülés akkor következik be, ha az igénybevétel meghaladja a biológiai folyáshatárt. [18]

A termény tönkremenetelét legtöbbször a „biológiai folyáshatár” értékénél adják meg, mivel ez az érték könnyen mérhető (3.5. ábra). [4]

A biológiai folyáshatáron kívül a tönkremenetel egyéb módon is megadható.

Bernstejn a tönkremenetelt a terménybe bevitt térfogati energia kritikus értékével jellemzi. [1] Fluck és Ahned az ejtés során a terményben felhalmozódó „határenergiákat” vizsgálták. [6]

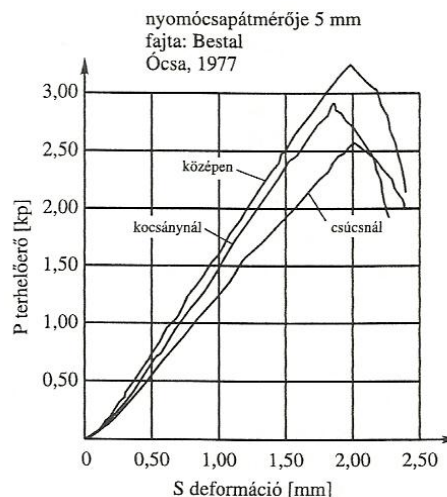
Couto, Silva és Regazzi ömlesztett anyagok esetén egy elektromos jellemző, a konduktivitás és a sérülés közötti kapcsolat meghatározásával foglalkozott. [3]

Ezekon kívül alkalmazható még a sérülés felszíni mértékének mérése is (maximális vagy átlagméret). [19]

3.2.2. Az ütközés

A mezőgazdasági anyagok sérülését leggyakrabban ütközés okozza. A betakarítás folyamán, szállításkor, a különféle kezelések (manipulálás) során a mozgásban lévő termény álló vagy mozgó géprészekkel ütközik. A termény felülete a legtöbb esetben konvex (domború), ezért az ütközés folyamán benne Hertz-feszültség keletkezik. [18]

Az egymással érintkező, elsősorban görbe felületű testek egy vagy több ponton érintkezhetnek egymással. Ezekben a pontokban, illetve ezek környezetében az érintkező testek rugalmasan vagy maradandóan deformálódnak, tehát az érintkezés véges felületen jön létre.



3.5. ábra: Biológiai folyáshatár uborka esetén. [4]

Mivel az érintkezési felületek a vizsgált test méreteihez viszonyítva kicsinyek, emiatt az érintkezés helyén és annak környezetében igen nagy feszültségek keletkeznek. Ezek vizsgálatával eredményesen elsőként Hertz foglalkozott, így ma is Hertz-feszültség néven ismertek az irodalomban. [9]

Az ütközés mechanizmusát vizsgálva négy fázist különböztethetünk meg:

- Az ütközés kezdetén tisztán rugalmas deformáció lép fel, ez a tehermentesítés során teljesen megszűnik. Az ütközésnek ez a szakasza (deformáció, közepes nyomás, az ütközés ideje) a Hertz-elmélet alapján számítható.
- A plasztikus deformáció kezdete, amelynek során a közepes nyomás értéke felülmúlja az anyag dinamikus folyási feszültségét, és a deformáció egy része tehermentesítéskor visszamarad.
- Teljesen plasztikus deformáció, amelynek során a deformáció folytatódik, a közepes nyomás a dinamikus folyási feszültség alá esik.
- Tehermentesítés, amelynek során az anyagban tárolt rugalmas feszültségek és rugalmas deformációk megszűnnek. A plasztikus deformációk visszamaradnak.

Az ütközés okozta sérült térfogatot elméleti úton elsősorban a feszültséganalízis módszereivel vizsgálhatjuk. [18]

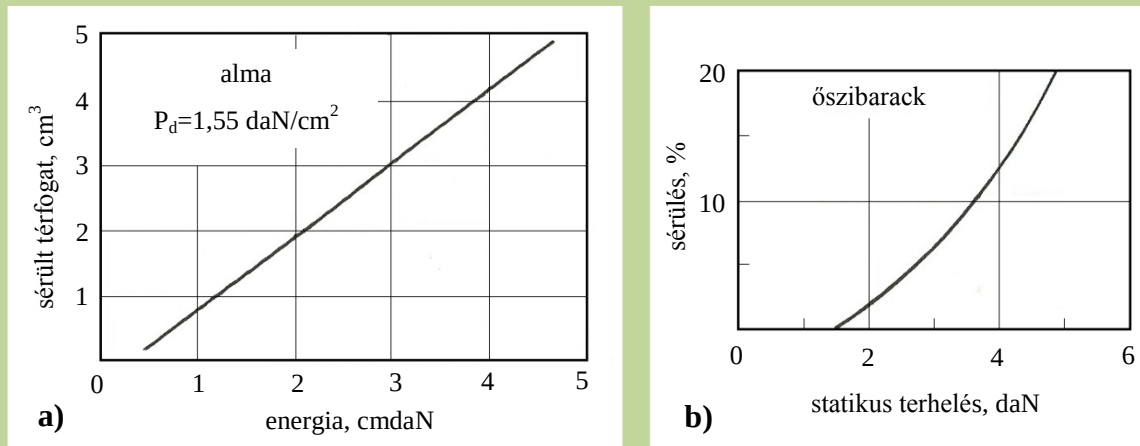
3.2.3. Egyes tényezők hatása a sérülékenységre

Az érési állapot néhány gyümölcsnél és zöldségféléknél (őszibarack, sárgabarack, málna, körte, paradicsom) döntően befolyásolja a sérülékenységet. Ezeknél a gyümölcsöknél a teljes érést megelőző néhány nap alatt a mechanikai jellemzők sokszor nagyságrendben változnak s ezzel együtt a sérülési hajlam is változik.

Túl érett állapotban néhány gyümölcs (pl. az őszibarack, a kajszibarack, körte) szilárdsága olyan mértékben csökken, hogy deformálódás nélkül egyáltalán nem kezelhető.

A gyümölcsfélék sérülésének elkerülése céljából nagy jelentősége van a megengedhető esési magasságnak és a megengedhető statikus nyomásnak. Az előbbi a szedési és manipulálási műveletek tervezése szempontjából, míg az utóbbi a szállítóládák magasságának megválasztásánál fontos.

A megengedhető esési magasság egy gyümölcsfaján belül a súlytól is függ. A kisebb alma nagyobb esési magasságot bír el. Ezért célszerűbb az adott gyümölcsre az abszorbeálható energiát (cmN) megállapítani, s ebből az adott súly ismeretében a megengedhető esési magasság egyszerűen számítható.



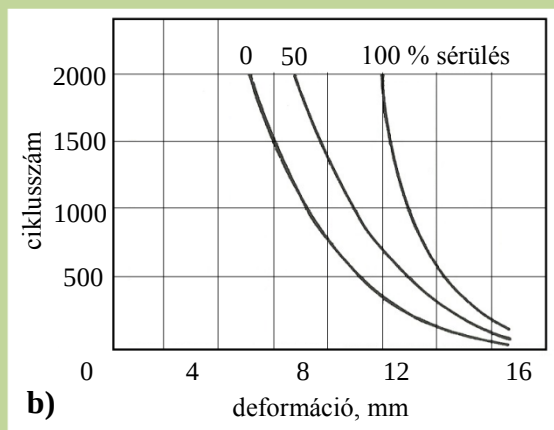
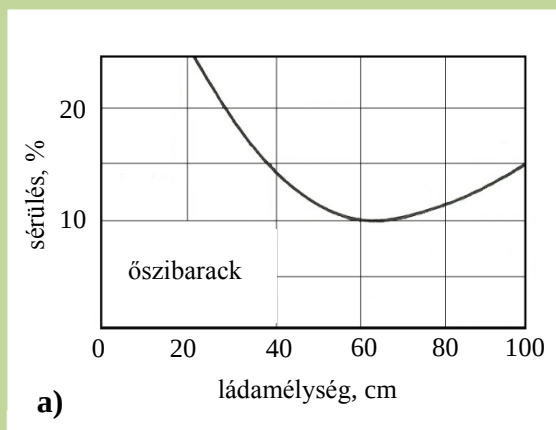
3.6. ábra: Az ütközési energia hatása a sérült térfogatra alma esetén (a), Összefüggés a statikus terhelés és a sérülés között őszibarack esetén (b). [18]

A 3.6/a ábrán az ütközési energia és a zúzódást szenvedett térfogat közötti összefüggés látható alma esetén. [10] Az abszorbeált energiával a sérült térfogat lineárisan növekszik. [18]

Az adott gyümölcsre megengedhető statikus terhelést kísérletekkel állapítják meg. A 3.6/b ábrán egy ilyen kísérlet eredménye látható, amelyből megállapítható, hogy az őszibarack kb. 1,5 daN (dekanewton) statikus terhelést bír el sérülés nélkül. Ez kb. 70 cm magas gyümölcsoszlop súlyának felel meg. [7][18]

Szállítás közben a legnagyobb gyorsulások a felső rétegben adódnak. Minél mélyebb a láda, a felső réteg annál kisebb hányadot képvisel. Ezért a láda mélységének növelésével egy darabig a sérült gyümölcsök hányada lényegesen csökkenthető. A 3.7/a ábra a ládamélység függvényében mutatja a sérült gyümölcsök hányadát 160 km-re történő szállításkor. [7] Az optimális ládamélység a vizsgálatok szerint 60 cm. Nagyobb mélységeknél az alsó részekben növekszik a sérülés a statikus nyomás következtében.

A szállítás okozta sérülés csökkenthető a szállító jármű rugózásának célszerű kialakításával (lérugózás). A ládában levő gyümölcs tetejére célszerű ezen kívül 2-3 cm vastag szivacszerű fedőréteget helyezni, amely a felső gyümölcsléteggel gyorsulását csökkenti. Ezáltal a sérülés lényegesen csökkenthető. [11]



3.7. ábra: A ládamélység és a sérülés közötti összefüggés őszibarack esetén (a), a ciklusszám, a sérülés és a terhelés okozta deformáció közötti összefüggés burgonya esetén (b). [18]

A ciklusszám, a sérülés és a terhelés okozta deformáció között bizonyos esetekben összefüggés kereshető, ez egy 60 mm átmérőjű merev golyóval terhelt burgonya esetén a 3.7/b ábrán látható. A rugalmassági modulus ismeretében az egyes deformációkhoz tartozó erő számítható, így megítélhető, hogy a szállítás vagy egyéb manipulációs műveletek közben kialakuló igénybevételek milyen sérülést okoznak. [18]

3.2.4. Dinamikus és ismétlődő terhelés

A terményt a legtöbb esetben dinamikus hatás éri (például ütés más termény vagy gépelem által) a szállítás során pedig ismételt terhelés hat a terményhalmazra. [4]

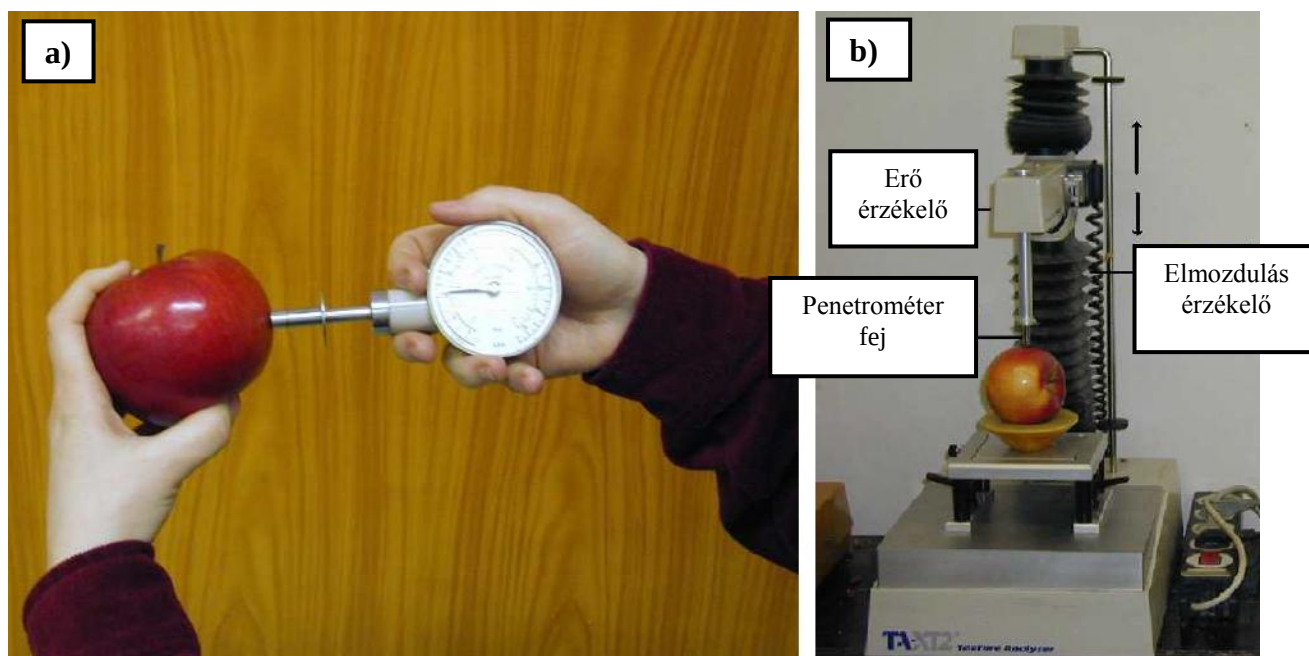
A különféle gyümölcsöket általában ládában szállítják. A gyümölcsre statikus és dinamikus erők hatnak, amelyek ha egy adott értéket túllépnek, sérülés áll elő. A statikus erő a vizsgált gyümölcs felett elhelyezkedő gyümölcsoszlop súlyából számítható, míg a dinamikus terhelés a szállítás okozta vibráció következménye.

Sokszor ismétlődő terheléseknél a biológiai folyás akkor is bekövetkezhet, ha az egyes terhelések okozta igénybevétel kisebb, mint a biológiai folyáshoz tartozó igénybevétel. Ennek az az oka, hogy az anyag ismételt igénybevétel hatására puhul, s ezért szilárdsága csökken. [18]

Clark és Finney a dinamikus, 100-200 Hz frekvenciatartományban, O'Brien és Fridley pedig 0-30 Hz tartományban ismétlődő igénybevétel hatásával kapcsolatban végzett vizsgálatokat. [2][5][12] Finney a mérések során megállapítást tett Red Delicious alma első és második rezonanciafrekvenciájának értékére. [5]

3.3. Terményvizsgáló berendezések, módszerek

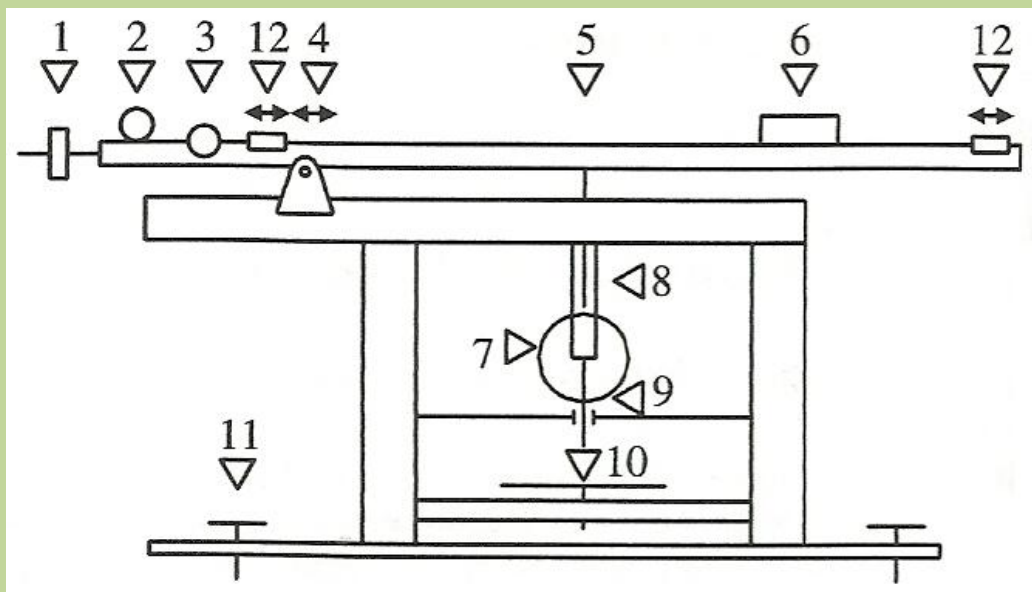
A terményvizsgálatok esetén a penetrometriás mérés az egyik leggyakrabban alkalmazott eljárás. A mérések során egy - általában henger alakú - nyomótesttel erőhatást fejtenek ki a vizsgált termény felületére, majd regisztrálják a terhelőerő és a deformáció kapcsolatát. A 3.8. ábrán egy kézi és egy gépi nyomású penetrometriás mérőeszköz látható. A kézi műszerrel a roncsolási határ állapítható meg. [20]



3.8. ábra: Kézi penetrométer (a), penetrometriás reológiai mérőműszer (b). [20]

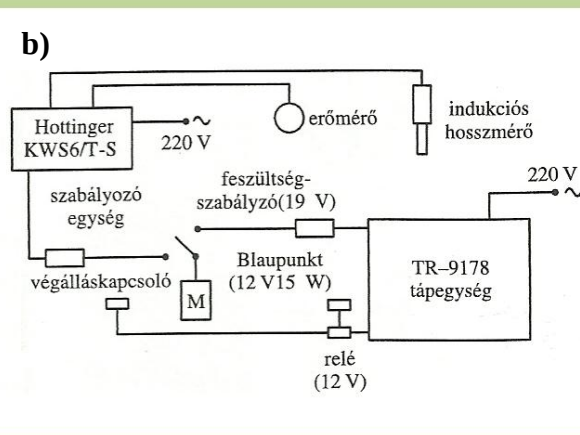
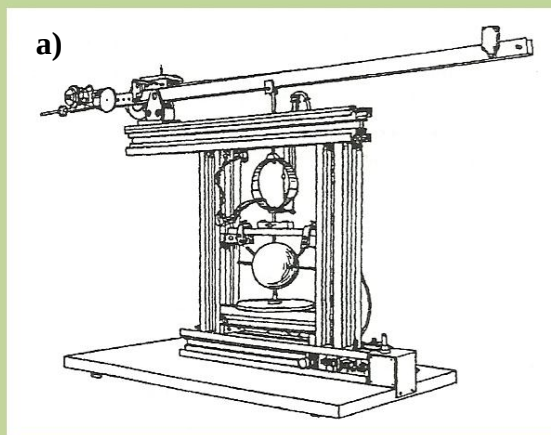
A Mezőgazdasági Gépesítési Intézetben több nyomócsapos berendezést fejlesztettek ki. Az első berendezéssel főképp almás termésű gyümölcsök és gumós zöldségek mérése valósult meg (3.9. és 3.10. ábra).

A berendezéssel a terhelés sebessége szabályozható. A termést egy vízszintes helyzetű terhelőkaron mozgó kocsi súlya nyomórúdon keresztül terheli.



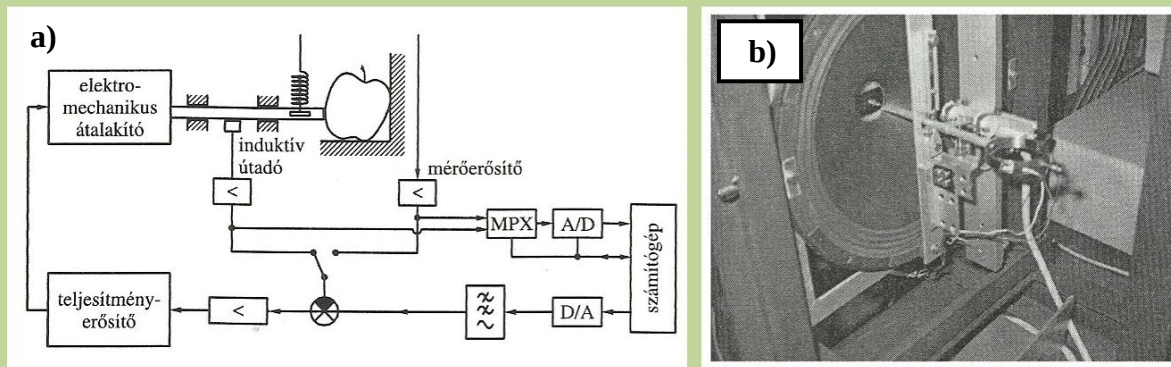
A terhelés jellegét és nagyságát változtató beállítások:	A mérési tartományok beállítása:
1. egyensúlyozó teher helyzete	7. erőmérő gyűrű
2. motor fordulatszáma	8. állítható helyzetű indukciós hosszadó
3. áttételek	9. változtatható hosszúságú terhelőrúd
4. csúszka távolsága a nyomótengelytől	10. állítható magasságú tárgyasztal
5. húzóhatás kengyel alkalmazásával	11. vízszintbeállítás
6. a kocsi pótsúlyok helyezhetőek	12. módosítható helyzetű végálláskapcsolók

3.9. ábra: Állítási lehetőségek a mechanikai vizsgálóberendezésen. [4]



3.10. ábra: A kialakított mérőberendezés (a), a mérő-, terhelő- és szabályozóegységek kapcsolási vázlat (b). [4]

Az intézet az ismételt terheléssel végzett vizsgálatokhoz fejlesztett berendezését egy hangszóró csévetestére erősített alumínium terhelőszál segítségével valósította meg (3.11. ábra).



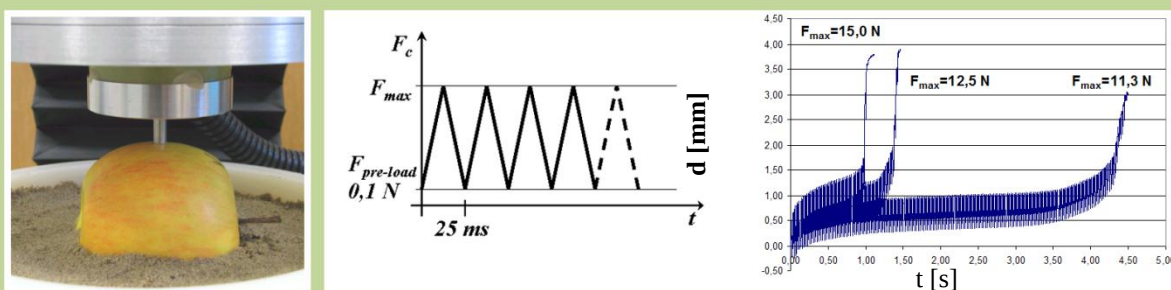
3.11. ábra: Hangszórás mérőberendezés kapcsolási vázlata (a), a kialakított terhelő berendezés (b). [4]

A berendezés terhelőegységét már számítógép vezérelte, így tetszőleges terhelési jelalakot lehetett előállítani. A számítógépen a mérési eredmények rögzítése és megjelenítése is lehetővé vált. [4]

A Mezőgazdasági Gépesítési Intézet legutóbbi anyagvizsgáló berendezésével, a DyMaTest-el statikus terheléssel étkezési paprikán, dinamikus terheléssel pedig Jonagold almán hajtottak végre sérülésvizsgálatokat (3.12. és 3.13. ábra). [15][16][17]



3.12. ábra: Étkezési paprika sérülésvizsgálata DyMaTest mérőberendezéssel. [15][17]

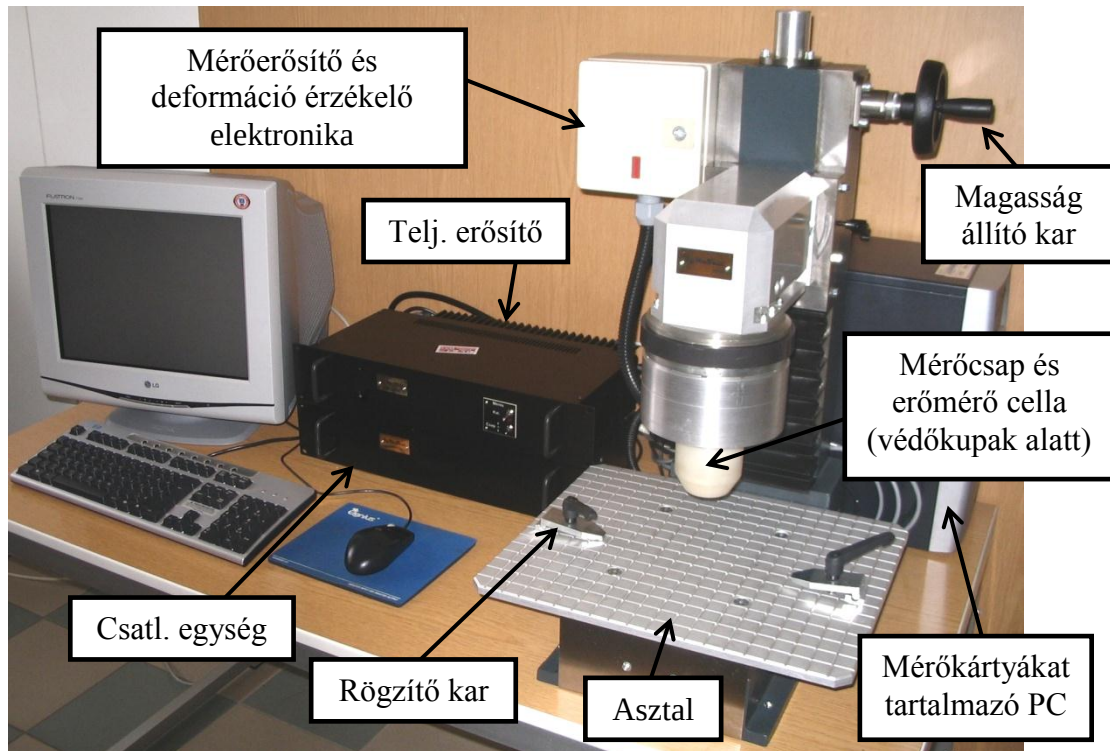


3.13. ábra: Jonagold alma sérülésvizsgálata háromszög alakú terhelőjellel. [16]

4. Anyag és módszer

4.1. A DyMaTest PMT 2003 és mérési összeállításának felépítése

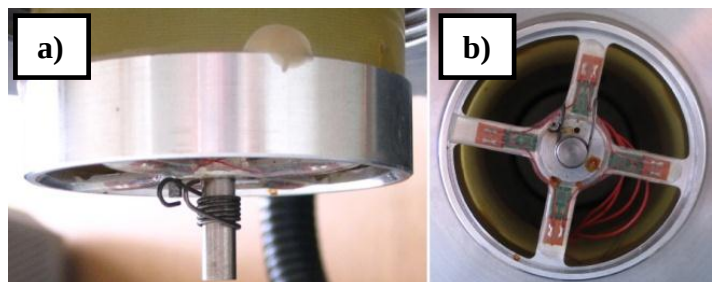
A terményeken elvégzett méréseket a Mezőgazdasági Gépesítési Intézetben található DyMaTest PMT 2003 típusú anyagvizsgáló berendezéssel végeztem. [15][16][17] Az eszköz számítógéppel vezérelt, a kiadott terhelőerő mellett a mért adatok regisztrálása is szoftveres úton történik. A teljes mérőrendszer felépítése a 4.1. ábrán látható.



4.1. ábra: A mérőrendszer felépítése.

Az előállított terhelőerő egy szabályozó elektronikán keresztül jut el a lengőtekercsig, majd egy azzal kapcsolatban álló mérőcsap (4.2/a ábra) segítségével az eszköz asztalára helyezett termény felületéig. A mérés során egy speciális kialakítású erőmérő cella segítségével mérhető az erő (4.2/b ábra), egy lézeres érzékelővel pedig a deformáció.

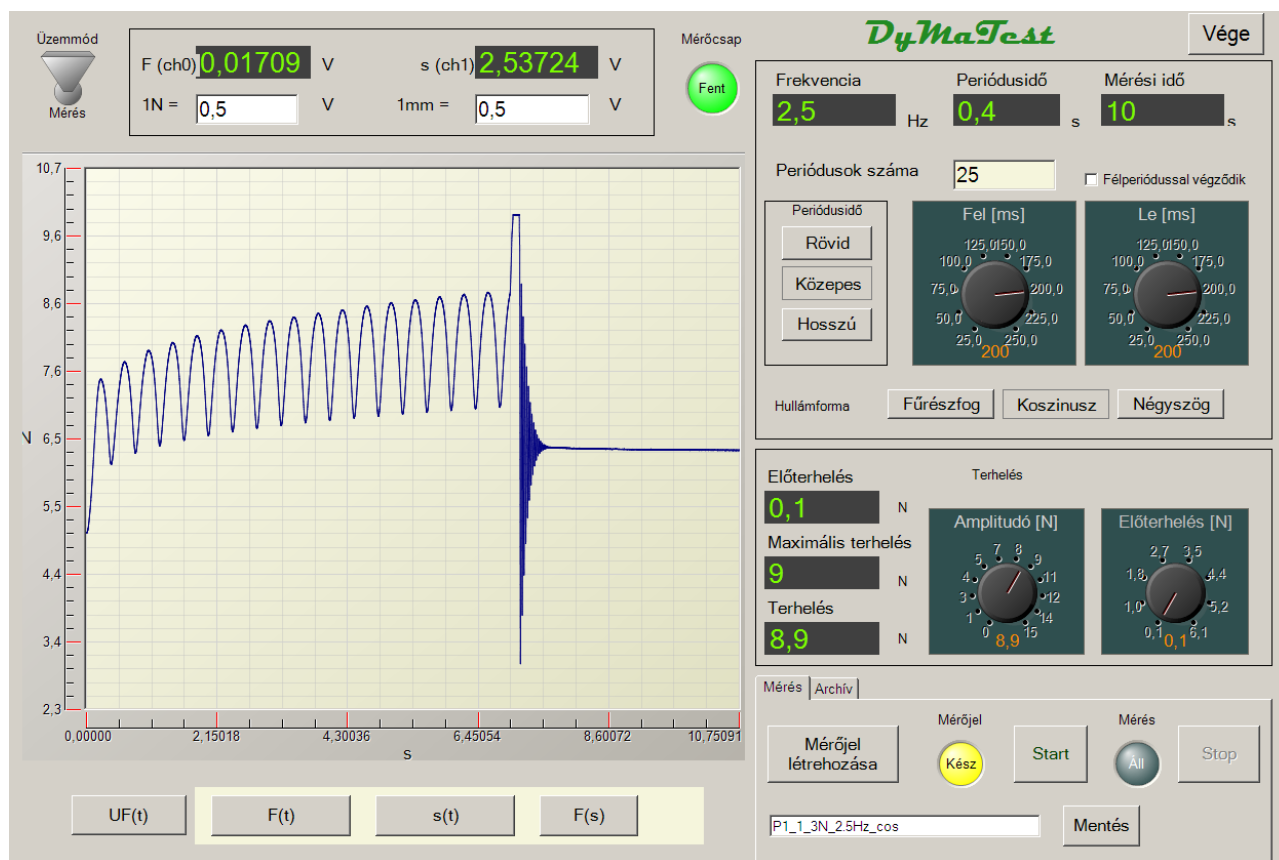
A mérőberendezés nyomócsapjai cserélhetőek, a mérésekhez Ø 4 mm, Ø 5 mm és Ø 6 mm csapok állnak rendelkezésre. A mérőrendszer működési vázlatát a 4.3. ábra mutatja.



4.2. ábra: Mérőcsap (a) és erőmérő cella (b).

4.2. A mérésekhez használt PC szoftver

A mérőrendszerhez tartozó számítógépes szoftver kezelőpaneljének felépítését a 4.5. ábra szemlélteti.



4.5. ábra: A mérőszoftver kezelőfelülete.

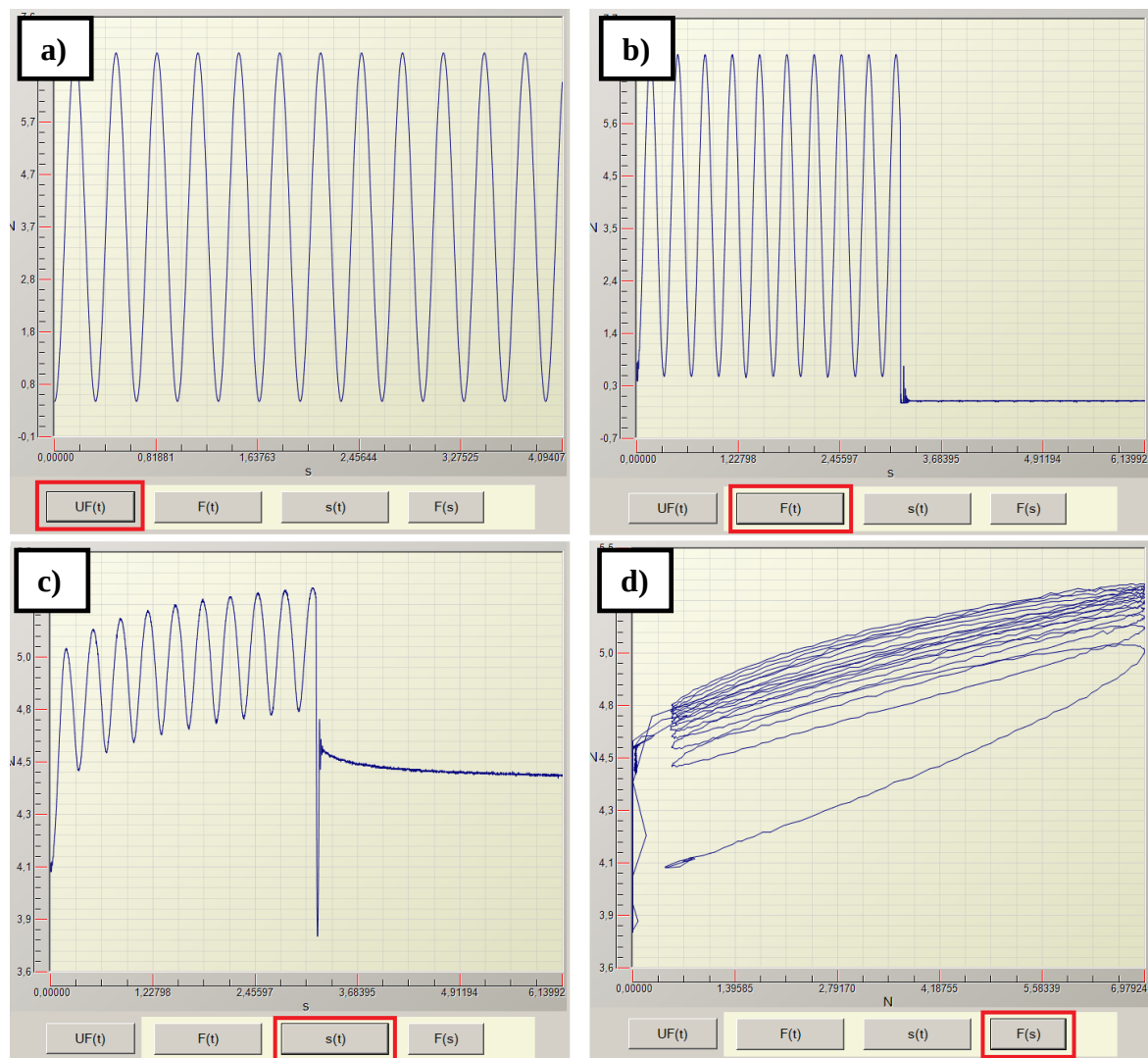
A bal felső sarokban található kapcsoló teszi lehetővé a 'kalibrálás' és a 'mérés' üzemmód közötti választást. Közvetlenül a kapcsoló mellett olvashatóak le az egyes mechanikai mennyiségeknek megfelelő feszültség értékek.

A vizsgálatok során nem a deformáció sebesség, hanem a berendezés működéséből adódóan a terhelőerő lefutása állítható, így az alakváltozást a terhelőerő függvényében kapjuk. [15] A terhelőerő-jel paraméterei a virtuális kezelőfelület jobboldalán specifikálhatóak. A felső rovatban a hullámforma kiválasztása után a forgatógombokkal állítható be a jel periódusideje. A potméterek állíthatósági tartományát az határozza meg, hogy rövid, közepes vagy hosszú periódusidejű jelet kívánunk létrehozni. A fűrészfog jelalaknál a fel és leterhelési szakasz periódusideje külön-külön is állítható, ezáltal háromszög (egyforma fel- és lefutó szakasz) és fűrészfog (nem egyforma fel- és leterhelésű) jel is előállítható.

A négyszög jelnél ugyanilyen módon lehetőség nyílik a felső és alsó terhelési szakasz idejének külön történő változtatására. A beállított paramétereknek megfelelően a jobb felső részen a jel frekvenciája, periódusideje és a beírt periódusok számától függően a mérési idő számszerűen leolvasható.

A jobboldali részen az előző bekezdésben ismertetett panel alatt az erőfüggvény amplitúdója állítható be. A maximális terhelés a forgatógombokkal beállított előterhelés és a terhelés értékeinek összegéből adódik, az így kapott legnagyobb erő 15 N lehet.

A paraméterek specifikációja után a jobb alsó sarokban a 'mérőjel létrehozása' gombbal állítható elő a terhelőerő, majd a start gombbal indítható a mérés (a mérőcsap és a termény megfelelő pozíciója esetén). Az előállított jel (4.6/a ábra) mellett a mérés után a vizsgált termény erő-idő (4.6/b ábra), deformáció-idő (4.6/c ábra) és erő-deformáció (4.6/d ábra) függvénye jeleníthető meg.



4.6. ábra: Az előállított terhelőerő (a), a mért erő-idő (b), deformáció-idő (c) és erő-deformáció függvény megjelenítése (d).

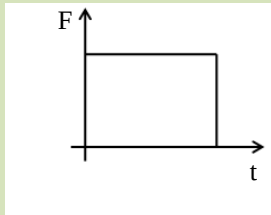
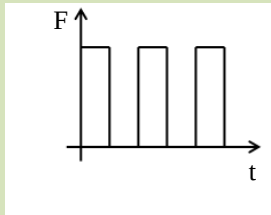
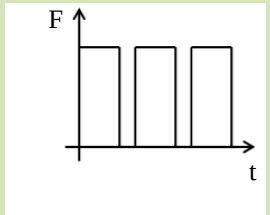
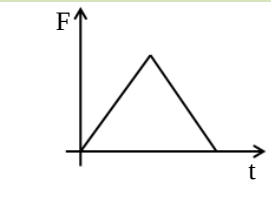
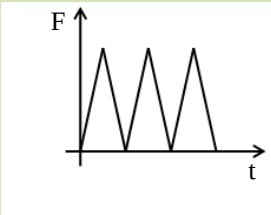
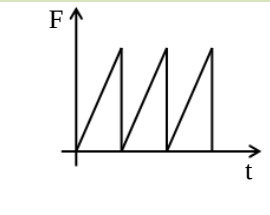
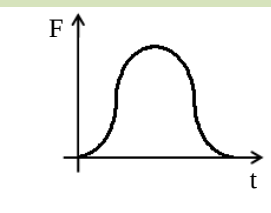
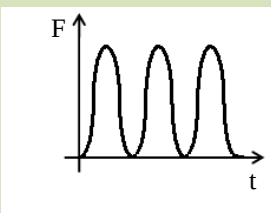
4.3. Műszaki paraméterek összefoglalása

A DyMaTest PMT2003 anyagvizsgáló berendezés műszaki paramétereit a 4.1. és 4.2 táblázat foglalja össze.

4.1. táblázat: DyMaTest PMT2003 műszaki paramétereit.

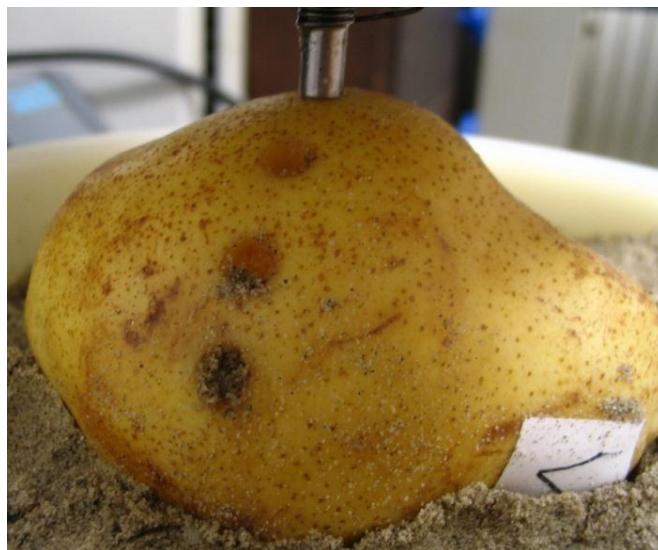
Maximális nyomóerő:	15 N
Erő mérése:	Speciális tenzometrikus nyomócella
Deformáció:	10 mm-ig
Deformáció mérése:	Lézeres pozíciómérő (felbontás: 3 μ m)
Frekvenciatartomány:	0...200 Hz
Nyomócsap átmérő:	Ø 4 mm, Ø 5 mm, Ø 6 mm

4.2 táblázat: A terhelő időfüggvények és lefutásuk.

Terhelőerő időfüggvénye	Terhelő időfüggvények lefutása		
	Egyszeri	Periodikus	
Állandó terhelés			
	Egységugrás	Négyszögjel	
Lineárisan növekvő, csökkenő			
	Háromszög	Háromszög	Fűrészfog
Szinuszos			
	Szinusz (1 periódus)	Szinusz	

5. Mérési eredmények és azok értékelése

A mérőcsapos nyomóterhelések két mérési sorozat regisztrálásával a Vilmos körték legnagyobb átmérője körül történtek (5.1. ábra). Az első mérési sorozat egy terhelés mellett három különböző frekvencián, két különböző jelalakkal (koszinuszos és háromszög), négy ismétléssel (30 db mérési pont), a második mérési sorozat pedig szintén két jelalakkal egy terhelés mellett öt különböző frekvencián, illetve egy frekvencia mellett öt különböző terheléssel, három ismétléssel került rögzítésre (60 db mérési pont).

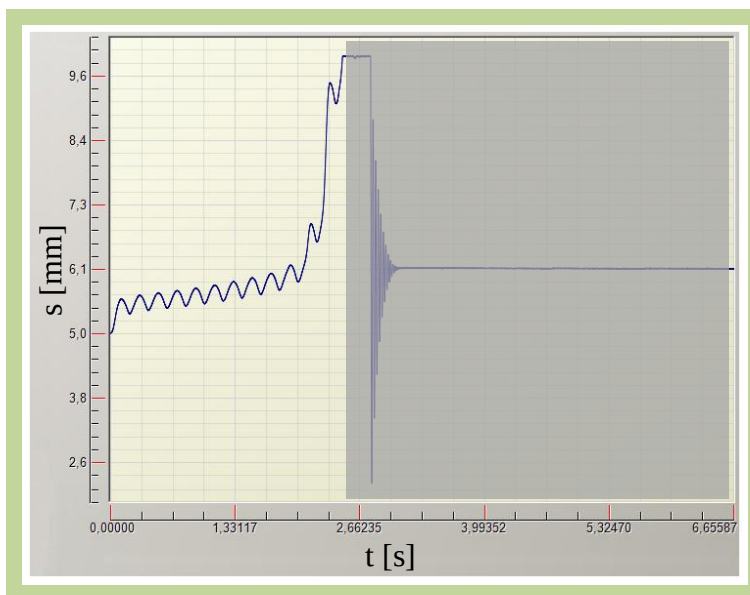


5.1. ábra: A Vilmos körtéken megvalósított nyomócsapos mérések

5.1. Az első mérési sorozat

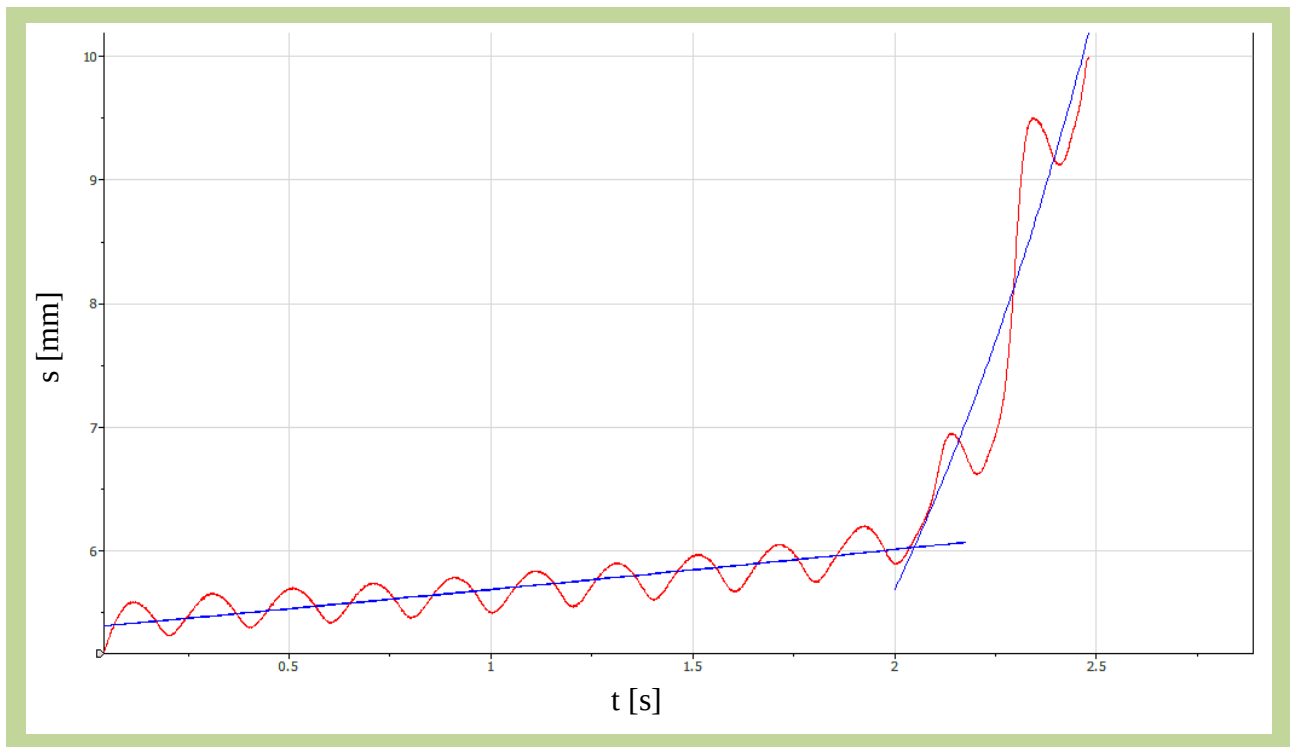
A vizsgálatokat 6 N amplitúdójú nyomóerő mellett 2,5 Hz, 5 Hz és 10 Hz frekvencián végeztem. A mérések eredményeit a DyMaTest mérőszoftvere megjeleníti (5.2. ábra), a további feldolgozási műveletekhez pedig a numerikusan elmentett adatok állnak rendelkezésre.

Az amplitúdó nagyságának beállítása során figyelembe vettem, hogy az adatok számának csökkentése és a könnyebb feldolgozhatóság érdekében a tönkremenetel viszonylag hamar (pár másodpercen belül) következzen be, de ettől függetlenül a folyamat során regisztrált görbe jellege egyértelműen látható legyen. Az 5.2. ábrán a teljes tönkremeneteli folyamat az elhalványított részig terjed.



5.2. ábra: A DyMaTest számítógépes szoftvere által megjelenített deformáció-idő függvény.

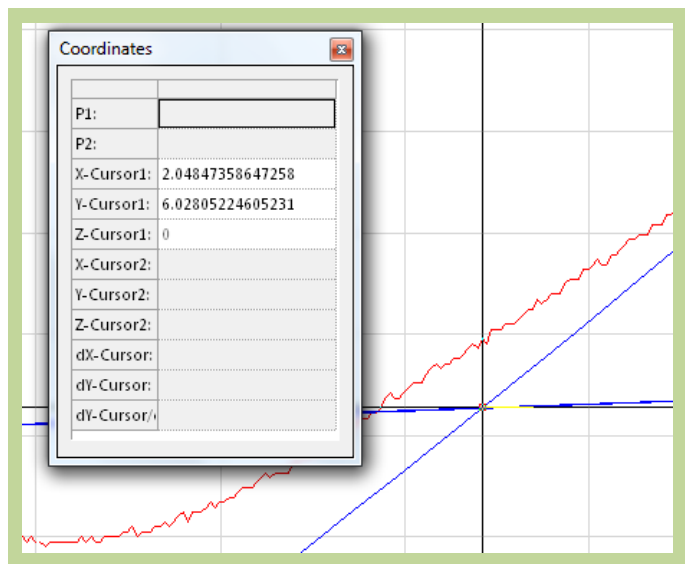
A tönkremeneteli határpont meghatározásához a National Instruments DIAdem szoftverét használtam. Az állandó amplitúdójú és frekvenciájú ismétlődő terhelés következtében dinamikus kúszási jelenség jön létre. A mérések során kapott deformáció-görbe két szakaszára exponenciális regressziógörbékét illesztettem (5.3. ábra).



5.3. ábra: A deformáció-idő függvényre illesztett exponenciális görbék.

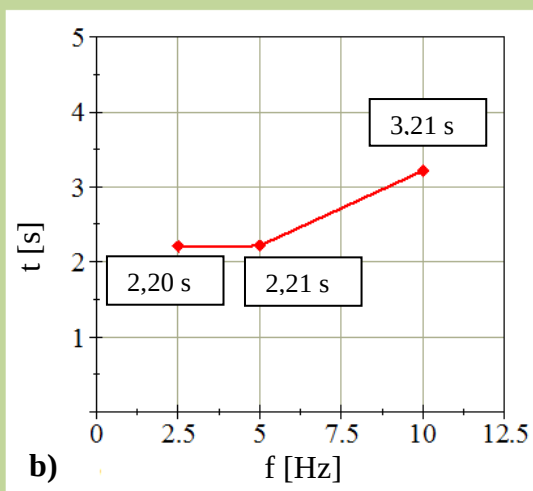
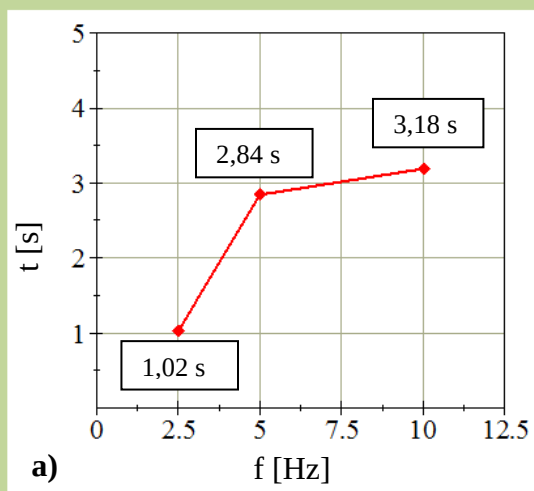
A két regressziós görbe metszéspontja nevezhető a tönkremeneteli határpontnak. A pontos leolvasást a szoftverben elérhető kurzor teszi lehetővé (5.4. ábra).

A mérési sorozatok és ismétléseik során meghatározott pontok átlagértékeit diagramon ábrázolva látható, hogy a tönkremenetel kisebb frekvenciákon hamarabb következik be mindkét jelalak esetén (5.5. ábra)



5.4. ábra: A görbék metszéspontjának leolvasása.

A nyomóerő függvény beállított jelalakja a tönkremeneteli időpontokat számottevően nem befolyásolta.

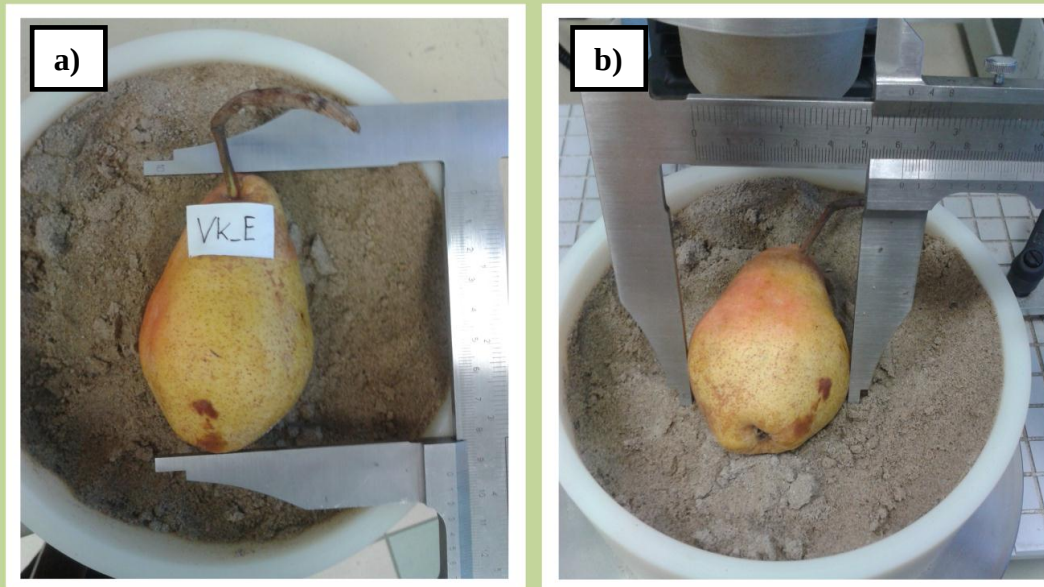


5.5. ábra: A tönkremeneteli határpont a frekvencia függvényében koszinuszos (a), és háromszög (b) jelalakú, állandó amplitúdójú (6 N) terhelőerő-függvény esetén.

5.2. A második mérési sorozat

5.2.1. Vilmos körték egyéb jellemzőinek meghatározása

A második mérés előtt a vizsgált körték méretét és tömegét is meghatároztam, a nyomócsapos mérések után pedig a Mezőgazdasági Gépesítési Intézetben található szárítóberendezés segítségével meghatároztam a nedvességtartalmukat.

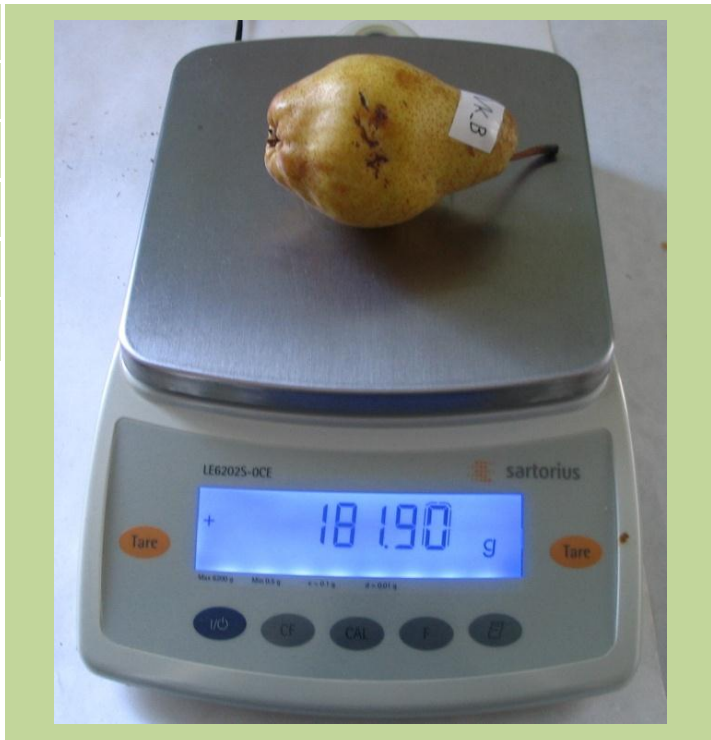


5.6. ábra: Vilmos körték hosszának (a) és átmérőjének (b) felvétele.

A termények hosszát és átmérőjét egy tolómérővel (5.6. ábra), a tömegét pedig egy 1/100 gramm pontosságú, Sartorius LE6202S-0CE típusú mérleggel (5.7. ábra) határoztam meg. A körték méret és tömegadatait az 5.1. táblázat tartalmazza.

5.1. táblázat: Vilmoskörték mérete és tömege

Termény:	Vk_A	Vk_B	Vk_C
hossz (mm):	81,4	96,6	92,8
átmérő (három helyen, mm):	57,9	63,8	65,5
	60,8	62,5	68,5
	59,1	64,4	69
tömeg (g):	141,3	181,9	205,5

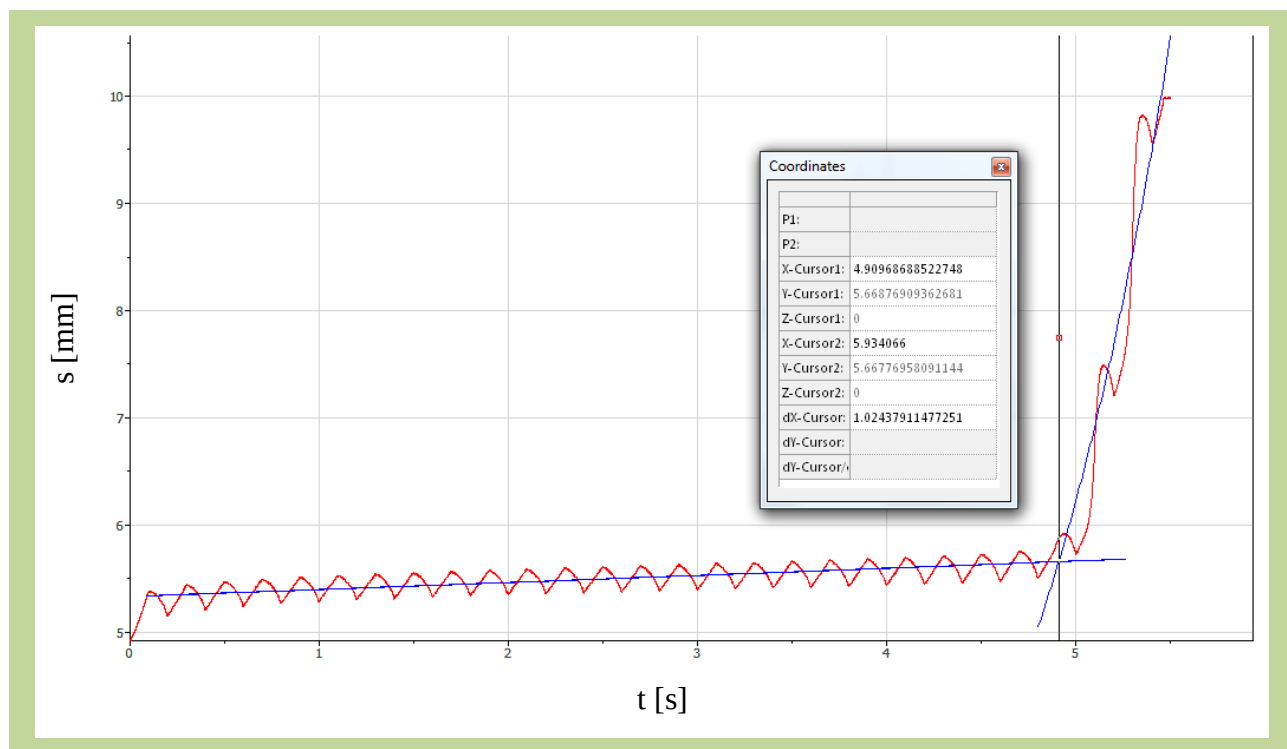


5.2.2. Terhelőcsapos vizsgálatok a 2. mérési sorozat során

A méretek és a tömeg felvétele után a terhelőcsapos méréseket 6N amplitúdójú nyomóerő mellett 2,5 Hz, 3,7313 Hz, 5 Hz, 7,5757 Hz és 10 Hz-es frekvenciákon végeztem.

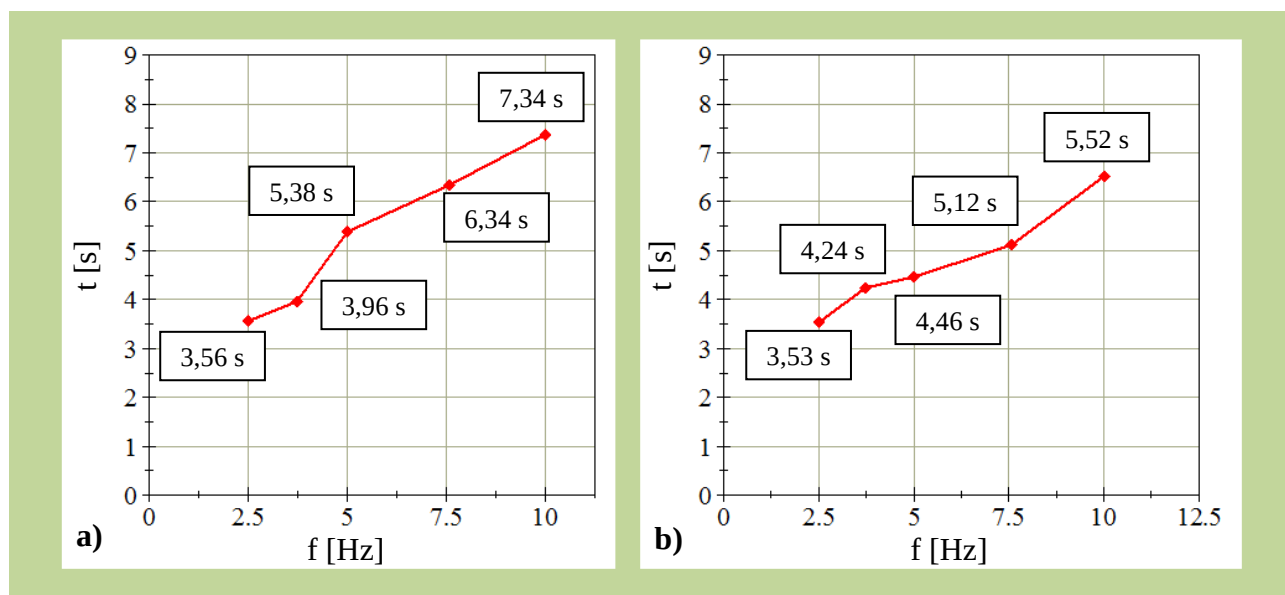
5.7. ábra: Vilmos körték tömegének mérése.

A tönkremeneteli határpontok meghatározása az első mérés esetén bemutatott görbeillesztéssel történt (5.8. ábra).



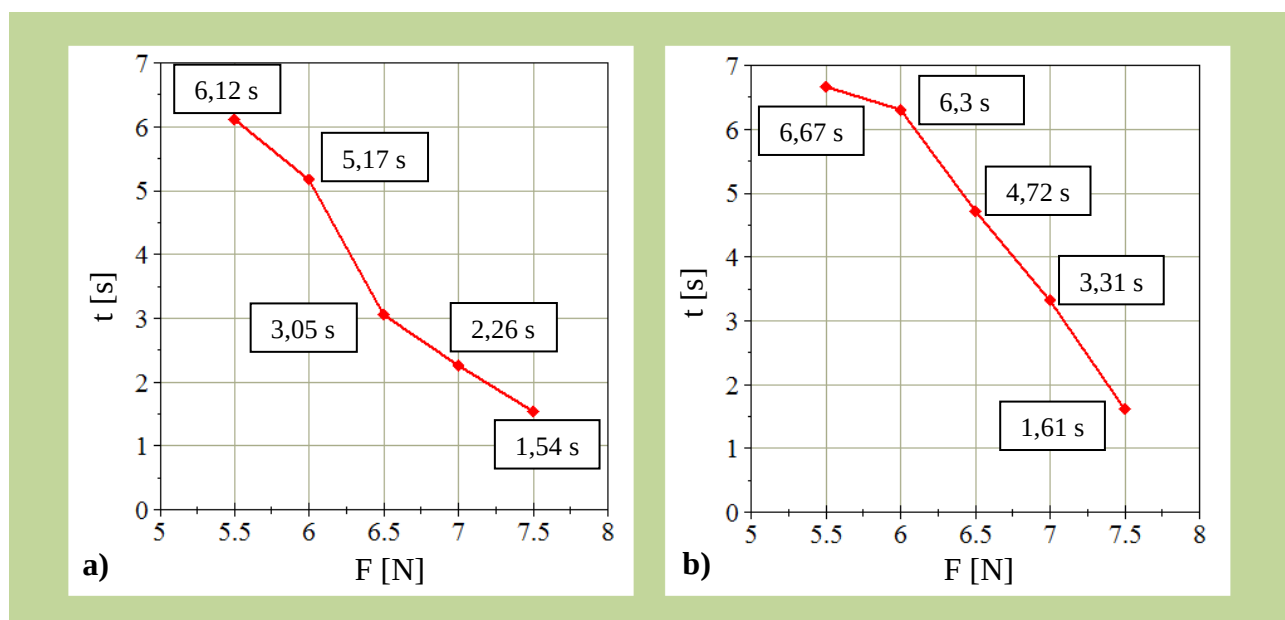
5.8. ábra: A deformáció-idő függvényre illesztett exponenciális görbék háromszög jelalakú terhelőerő-függvény esetén.

A mérési sorozatok eredménye az adatok feldolgozása után az 5.9. ábrán bemutatott diagramokon látható.



5.9. ábra: A tönkremeneteli határpont a frekvencia függvényében koszinuszos (a), és háromszög (b) jelalakú, állandó amplitúdójú (6 N) terhelőerő-függvény esetén a 2. mérési sorozat során.

A második mérés során a fent ismertetett vizsgálatokon kívül 5 Hz-es frekvencián 7,5 N-tól 5,5 N-ig öt tizedes lépésközökben végeztem méréseket, az eredményeket a fentiekkel megegyező módon történő kiértékelés után az 5.10. ábrán látható diagramok szemléltetik.



5.10. ábra: A tönkremeneteli határpont a terhelőerő nagyságának függvényében koszinuszos (a), és háromszög (b) jelalakú állandó frekvenciájú (5 Hz) terhelő-függvény esetén a 2. mérési sorozat során.

A mérések eredménye alapján elmondható, hogy a nagyobb terhelőerők esetén következik be hamarabb a tönkremenetel.

5.3. A nedvességtartalom meghatározása

Mivel egyes termények azonos beállított terhelési paraméterek mellett bekövetkező tönkremeneteli időpontjai között néhol elég nagy különbség tapasztalható, ezért a második mérési sorozat után meghatároztam az egyes termények nedvességtartalmát is, amely ezeket az eredményeket befolyásolhatja.

A Mezőgazdasági Gépesítési Intézet klimatechnika laboratóriumában található szárítószekrényben 24 órás, 105 °C-on történő szárítást követően a termények mért tömege (az üvegekkel együtt) az 5.3. táblázatban látható.



5.11. ábra: Feldarabolt terményeket tartalmazó üvegek.

5.3. táblázat: A termények szárítást követő tömegei (tároló üvegekkel együtt)

Minta:	Vk_A	Vk_B	Vk_C
Tömeg:	234,7 g	251,52 g	272,1 g



5.12. ábra: Termények a szárítási műveletet követően.

A termények nedvességtartalmát az alábbi összefüggés szerint határoztam meg:

$$h = \frac{m_{\text{nedves}} - m_{\text{száraz}}}{m_{\text{nedves}}} \cdot 100 [\%] \quad (5.1)$$

Ahol: m_{nedves} – a szárítás előtti tömeg az üveg tömege nélkül

$m_{\text{száraz}}$ – a szárítás utáni tömeg az üveg tömege nélkül

Így az egyes termények nedvességtartalma:

$$h_{\text{VK}_A} = \frac{(347,3 - 208,7) - (234,7 - 208,7)}{347,3 - 208,7} \cdot 100 = 81,24 \%$$

$$h_{\text{VK}_B} = \frac{(388 - 209,5) - (251,52 - 209,5)}{388 - 209,5} \cdot 100 = 76,459 \%$$

$$h_{\text{VK}_C} = \frac{(411 - 209,7) - (272,1 - 208,7)}{411 - 209,7} \cdot 100 = 68,504 \%$$

6. Összefoglalás

6.1. Eredmények

A DyMaTest mérőcsapos anyagvizsgáló berendezéssel 10 Hz-ig terjedő frekvenciatartományban végeztem dinamikus terhelési vizsgálatokat Vilmos körték tönkremeneteli határpontjainak meghatározása érdekében. A méréseket kétféle terhelőfüggvénnyel (szinuszos és háromszög), különböző amplitúdókon és frekvenciákon hajtottam végre. A tönkremeneteli határpontokat a deformáció-idő függvényekre illesztett exponenciális regresszió görbék segítségével definiáltam, majd a frekvencia és a terhelőerő függvényében diagramokon ábrázoltam.

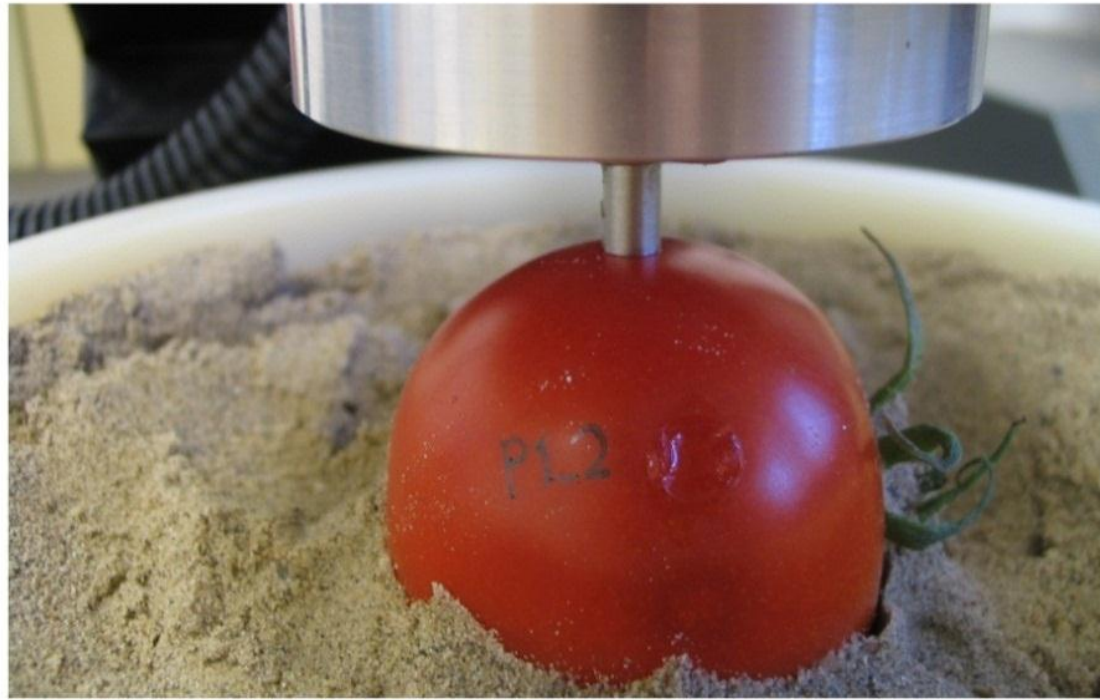
Az eredményekből látható, hogy a tönkremenetel állandó amplitúdójú terhelés mellett kisebb frekvenciákon hamarabb következik be, állandó frekvencia mellett kisebb amplitúdójú terhelőerők esetén pedig később. Megállapítható, hogy a tönkremeneteli határpontot a terhelőerő-függvény alakja szinuszos és háromszög lefutású jel esetén alig befolyásolja.

A megismételt vizsgálatok eredményei alapján kijelenthető, hogy az alkalmazott eljárás során olyan egzakt mérési módszer kidolgozására került sor, amely a dinamikus terhelés esetén bekövetkező tönkremeneteli határpont megállapítására, és azok meghatározott paraméterek függvényében történő elemzésére alkalmas.

A mérési módszer és a dolgozatban leírt vizsgálatokból levonható következtetések a termények betakarítási, szállítási és feldolgozási műveletei során hasznosíthatóak. A manipuláció során történő behatások laboratóriumi rekonstrukciója, valamint a tönkremenetelt okozó határértékek meghatározása tovább pontosítható, ha az említett folyamatok során ébredő valódi dinamikus terhelések hatását egy „mérőgyümölcs” felhasználásával vizsgáljuk.

6.2. További célkitűzések

Célkitűzéseim között szerepel további mérések nagyobb mintaszámmal történő elvégzése Vilmos körték és paradicsom esetén is (6.1. ábra). Több mérési sorozat esetén a tönkremeneteli határpont és a nedvességtartalom kapcsolatának meghatározása is kilátásba került.



6.1. ábra: Terhelőcsapos mérések paradicsom esetén.

Az eredmények fejezetben már említett „mérőgyümölcs” manipulációs folyamatokban történő alkalmazásával a gyümölcsre ható erők ismeretében a laboratóriumi vizsgálatok során a tönkremeneteli határpont bekövetkezésének körülményei pontosabban meghatározhatóak.

A jelenlegi mérőrendszer továbbfejlesztése a gyorsabb adatfeldolgozás érdekében megkezdődött. Az új rendszer mérőszoftvere és kezelőfelülete a National Instruments Labview segítségével valósul meg.

Céljaim közt szerepel még további anyagjellemzők meghatározása, valamint a mérések mellett egy matematikai modell felállítása is.

A Mezőgazdasági Gépesítési Intézetben a mérések végrehajtása során Bércesi Gábor, Szalay Kornél, Deákvári József és témavezetőm, Dr. Petróczki Károly segítették a munkámat, hozzájárulásukat ezúton szeretném megköszönni.

Irodalomjegyzék

- [1] Bernstein T. B.: Iszledoványie nekatarüh fiziko-mehanicsezkih szvojsztvah jablok Szadavodszto. Kisinev, 1974.
- [2] Clark R.: Some aspects of elastic behaviour of selected fruits. ASAE. Trans No1. 1968.
- [3] Couto S. M. - Silva, M.A.- Regazzi, A.J.: An electrical conductivity method suitable for Quantitative mechanical damage evaluation. Trans. ASAE 1998.
- [4] Fenyvesi László: Mezőgazdasági termények sérülésvizsgálata, Akadémiai Kiadó, Budapest, 2004, 26-27., 29-31., 33.-37. oldal
- [5] Finney E. E.: Mechanical Resonance Within Red Delicious Apples and Its Relation to Fruit Texture. Trans. ASAE 1970.
- [6] Fluck R. C. – Ahned E. M.: Impact Testing of Fruits and Vegetables. Trans. ASAE 1973
- [7] Fridley R. – O'Brien M.: A gyümölcsbetakarítás gépesített módszereinek továbbfejlesztése Californiában. Kertészeti Gépesítési Kongresszus, Budapest, 1964.
- [8] M. Csizmadia Béla – Nándori Ernő: Modellalkotás – Mechanika mérnököknek sorozat, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2003, 76-80. oldal
- [9] M. Csizmadia Béla – Nándori Ernő: Szilárdságtan – Mechanika mérnököknek sorozat, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1999, 421. oldal
- [10] Nelson C. – Mohsenin N.: Maximum Allowable Static and Dynamic Loads and Effect of Temperature for Mechanical Injury in Apples. J. of Agr. Eng. Res., No. 4, 1968
O'Brien M. et al: The Magnitude and Effect of In-Transit Vibration Damage of Fruits and
- [11] Vegetables on Processing Quality and Yield. ASAE Trans., No. 4, 1969.
- [12] O'Brien M. – Fridley R.: Telemetry for Investigating Forces on Fruits During Handling. Trans. ASAE 1973.
- [13] Dr. Pék Lajos: Anyagszerkezettan és anyagismeret, Dinasztia Kiadó, Budapest, 2000, 362-363. oldal
- [14] Pék Lajos: Fémes és nemfémes szerkezeti anyagok, Szent István Egyetemi Kiadó, Gödöllő, 2010, 38. oldal
- [15] Petróczki Károly: Bruise Investigation of the Culinary Paprika, Hungarian Agricultural Engineering 20, 2007, 35-36. oldal
- [16] Petróczki Károly: Instrument for Static and Dynamic Compressive Testing of Biological Materials, Gépészet 2008: Proceedings of Sixth Conference on Mechanical Engineering , 2008, CD, ISBN:978-963-420-947-8

- [17] Petróczki Károly: Static and dynamic compressive testing instrument for biological materials – Hungarian agricultural engineering 22, 2009, 41-45. oldal
- [18] Sitkei György: A mezőgazdasági anyagok mechanikája, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1981, 108., 115-118., 251., 267-270. oldal
- [19] Studman C.J. - Brown G.K. - Timm E.J. - Schulte N.L. - Vreede M.J.: Bruising on blush and non-blush sides in apple-to-apple impacts. Trans. ASAE 1997.

Internetes hivatkozások

- [20] Ismeretlen szerző: Élelmiszerek, zöldségek, gyümölcsök reológiája:
ftp://physics2.kee.hu/_fizika1/2007osz/labor_3_Reologia%20%28VE%29.pdf
(Hozzáférés ideje: 2012. november 11.)

Ábrajegyzék

3.1. ábra:

Hooke-test (a), St. Venant-test (b) és Newton-test (c) erő-deformáció diagramja [8]. 3

3.2. ábra:

A legismertebb reológiai modellek. [8]. 5

3.3. ábra:

A kúszás fázisai (a), kúszás és kirugózás (b). [8][18] 6

3.4. ábra:

A relaxációs folyamat. [18] 6

3.5. ábra:

Biológiai folyáshatár uborka esetén. [4] 7

3.6. ábra:

Az ütközési energia hatása a sérült térfogatra alma esetén (a), Összefüggés a statikus terhelés és a sérülés között őszibarack esetén (b). [18] 9

3.7. ábra:

A ládamélység és a sérülés közötti összefüggés őszibarack esetén (a), a ciklusszám, a sérülés és a terhelés okozta deformáció közötti összefüggés burgonya esetén (b). [18] 10

3.8. ábra:

Kézi penetrométer (a), penetrometriás reológiai mérőműszer (b). [20] 11

3.9. ábra:

Állítási lehetőségek a mechanikai vizsgálóberendezésen. [4] 12

3.10. ábra:

A kialakított mérőberendezés (a), a mérő-, terhelő- és szabályozóegységek kapcsolási vázlata (b). [4] 12

3.11. ábra:

Hangszórós mérőberendezés kapcsolási vázlata (a), a kialakított terhelő berendezés (b). [4] 13

3.12. ábra:

Étkezési paprika sérülésvizsgálata DyMaTest mérőberendezéssel. [15][17] 13

3.13. ábra:

Jonagold alma sérülésvizsgálata háromszög alakú terhelőjellel. [16] 13

4.1. ábra:

A mérőrendszer felépítése. 14

4.2. ábra:

Mérőcsap (a) és erőmérő cella (b). 14

4.3. ábra:

A mérőrendszer működési vázlata. 15

4.4. ábra:

Magasság állító kar (a), rögzítő kar (b), mérőcsap pozíciójának kijelzése – a (c) ábrán a csap középhelyzetben van (5 mm). 15

4.5. ábra:

A mérőszoftver kezelőfelülete. 16

4.6. ábra:

Az előállított terhelőerő (a), a mért erő-idő (b), deformáció-idő (c) és erő-deformáció függvény megjelenítése (d). 17

5.1. ábra:

A Vilmos körtéken megvalósított nyomócsapos mérések 19

5.2. ábra:

A DyMaTest számítógépes szoftvere által megjelenített deformáció-idő függvény. 19

5.3. ábra:

A deformáció-idő függvényre illesztett exponenciális görbék. 20

5.4. ábra:

A görbék metszéspontjának leolvasása. 20

5.5. ábra:

A tönkremenetelig eltelt időtartam a frekvencia függvényében koszinuszos (a), és háromszög (b) terhelőerő jelalak esetén. 21

5.6. ábra:

Vilmos körték hosszának (a) és átmérőjének (b) felvétele. 21

5.7. ábra:

Vilmos körték tömegének mérése. 22

5.8. ábra:

A deformáció-idő függvényre illesztett exponenciális görbék háromszög jelalakú terhelőerő-függvény esetén. 22

5.9. ábra:

A tönkremenetelig eltelt időtartam a frekvencia függvényében koszinuszos (a), és háromszög (b) terhelőerő jelalak esetén a 2. mérési sorozat során. 23

5.10. ábra:

A tönkremenetelig eltelt időtartam a terhelőerő nagyságának függvényében koszinuszos (a), és háromszög (b) jelalak esetén a 2. mérési sorozat során. 23

5.11. ábra:

Feldarabolt terményeket tartalmazó üvegek. 24

5.12. ábra:

Termények a szárítási műveletet követően. 24

6.1. ábra:

Terhelőcsapos mérések paradicsom esetén. 26

Táblázatok jegyzéke

4.1. táblázat:

DyMaTest PMT2003 műszaki paramétere..... 18

4.2. táblázat:

A terhelő időfüggvények és lefutásuk 18

5.1. táblázat:

Vilmoskörték mérete és tömege..... 22

5.2. táblázat:

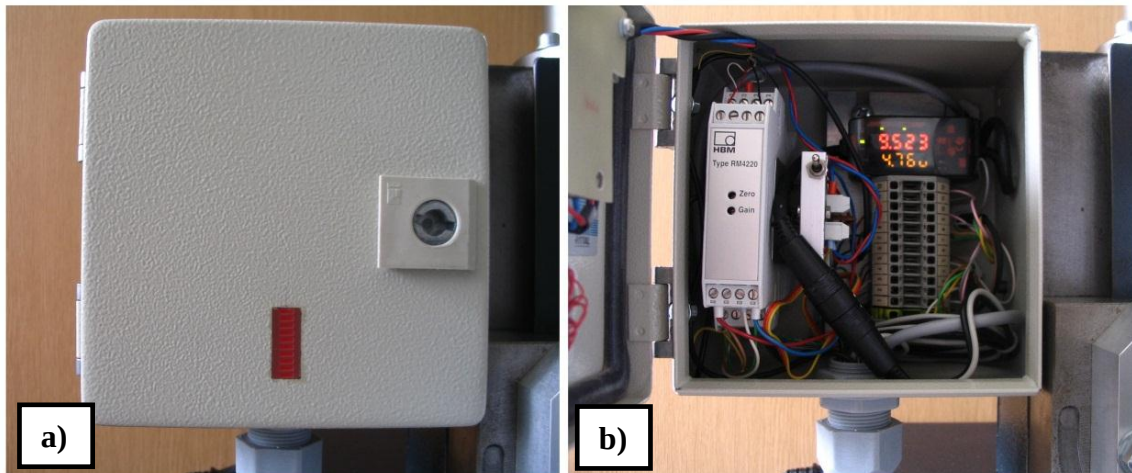
Terményt tároló üvegek szárítás előtti tömege 24

5.3. táblázat:

A termények szárítást követő tömegei (tároló üvegekkel együtt) 24

Mellékletek

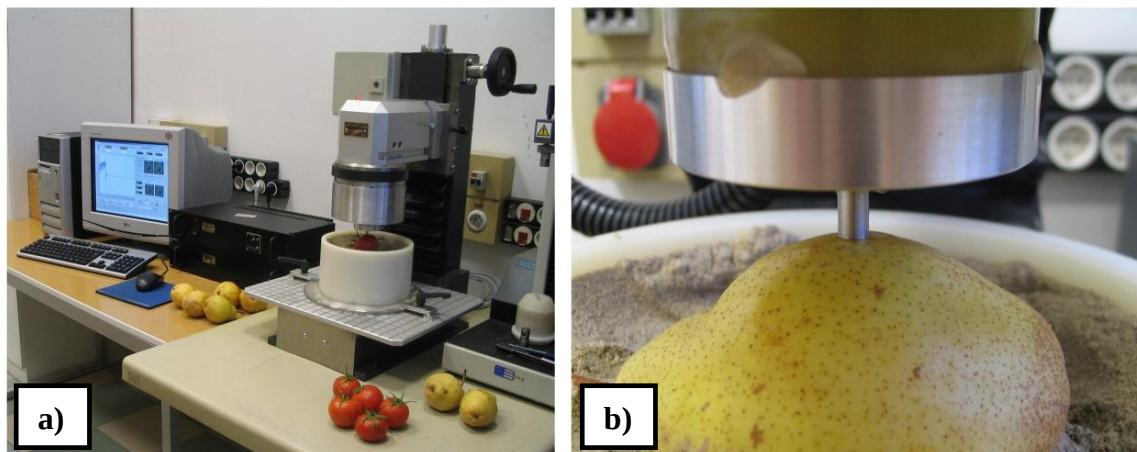
További képek a mérési összeállításról és a terményvizsgálati folyamatról



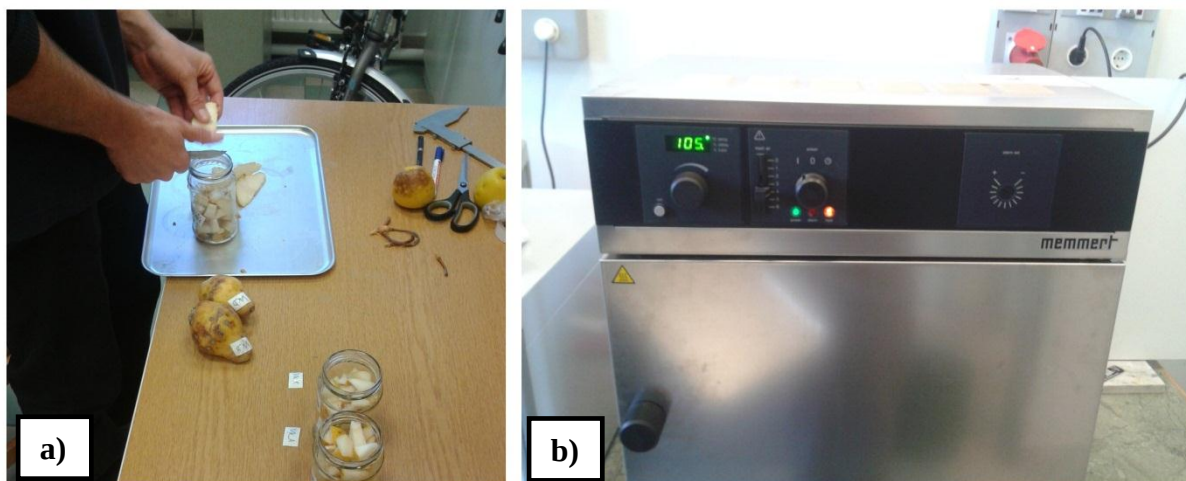
7.1. ábra: Mérőcsap pozíciójának visszajelző rendszere (a), lézeres deformáció érzékelő elektronika (b).



7.2. ábra: Mérőcsap és speciális kialakítású erőmérő cella.



7.3. ábra: Mérőrendszer (a), körte felületének terhelése mérőcsappal (b).



7.4. ábra: Körték előkészítése szárítás előtt (a), az alkalmazott szárítóberendezés (b).