

DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS

SZAFNER GÁBOR

MOSONMAGYARÓVÁR

2014

**NYUGAT-MAGYARORSZÁGI EGYETEM**  
**Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar**  
**Mosonmagyaróvár**  
**Matematika, Fizika és Informatika Intézet**

**Ujhelyi Imre Állattudományi Doktori Iskola**

Doktori Iskola vezető:

**Dr. Szabó Ferenc**

Egyetemi tanár, az MTA doktora

**Az állati eredetű termékek feldolgozása és minőségbiztosítása**  
**program**

Programvezető:

**Dr. Szigeti Jenő**

Egyetemi tanár

Témavezető:

**Dr. Dóka Ottó**

Egyetemi tanár

**Élelmiszerek effuzivitásának meghatározása fotopiroelektromos**  
**módszerrel**

Készítette:

**Szafner Gábor**

**Mosonmagyaróvár**

**2014**

**Élelmiszerek termikus tulajdonságainak meghatározása fotopiroelektromos  
módszerrel**

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében

Írta:

Szafner Gábor

Készült a **Nyugat-magyarországi Egyetem Ujhelyi Imre Állattudományi Doktori Iskola** Az állati eredetű termékek feldolgozása és minőségbiztosítása programja keretében.

Témavezető: Dr. Dóka Ottó egyetemi tanár

Elfogadásra javaslom (igen / nem) .....

(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton 92% -ot ért el,

Mosonmagyaróvár, .....

a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom

Bíráló neve ..... igen /nem

.....

(aláírás)

Bíráló neve: ..... igen /nem

.....

(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján.....% - ot ért el

Mosonmagyaróvár, .....

Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése.....

.....

Az EDT elnöke

## TARTALOMJEGYZÉK

<b>1. Bevezetés</b> .....	8
<b>2. Szakirodalmi áttekintés</b> .....	10
2.1. <i>Élelmiszerek termikus tulajdonságainak jelentősége</i> .....	12
2.2. <i>Élelmiszerek összetételének hatása a termikus tulajdonságokra</i> .....	13
2.3. <i>Élelmiszereket jellemző főbb termikus és optikai paraméterek</i> .....	16
2.4. <i>Effuzivitás</i> .....	19
2.4.1. <i>Nem élelmiszerek effuzivitása</i> .....	21
2.4.2. <i>Élelmiszeripari termékek és alapanyagok effuzivitás értékei</i> .....	26
2.4.2.1. <i>Élelmiszerek effuzivitás értékének meghatározása</i> .....	27
2.4.2.2. <i>Effuzivitás érték meghatározása fotoakusztikus módszerrel</i> .....	32
2.4.3. <i>Effuzivitás értékek meghatározására szolgáló PPE mérési                 módszer konfigurációi és elméleti háttere</i> .....	34
2.5. <i>Élelmiszerek effuzivitásának meghatározása</i> .....	42
2.5.1. <i>Élelmiszerek effuzivitásának meghatározása számításos                 módszerrel</i> .....	42
2.5.2. <i>A mért élelmiszerminták effuzivitás érték számításához                 szükséges tulajdonságok</i> .....	44
<b>3. A doktori értekezés célkitűzései</b> .....	48
<b>4. Anyag és módszer</b> .....	49
4.1. <i>A vizsgálati minták</i> .....	49
4.2. <i>A mérőrendszer felépítése</i> .....	55
4.3. <i>Az IPPE jel értékelése</i> .....	57
<b>5. Eredmények és értékelésük</b> .....	59
5.1. <i>Minták effuzivitásának meghatározása direkt úton (IPPE                 mérőrendszerrel)</i> .....	59
5.2. <i>A mért és ismert effuzivitás értékű élelmiszerek effuzivitás értékének                 összehasonlítása</i> .....	62

5.3. <i>Élelmiszerek effuzivitásának meghatározása különböző zsírtartalom mellett</i> .....	65
5.4. <i>Bor és méz minták effuzivitásának meghatározása egyéb alkotó, adalékanyag hozzáadása mellett</i> .....	70
5.5. <i>Friss tojás és rehidratált tojáspor vizsgálata</i> .....	72
5.6. <i>Effuzivitás számított értékeinek összehasonlítása az IPPE mérőrendszerrel mért értékekkel</i> .....	79
<b>6. Következtetések</b> .....	81
<b>7. Új tudományos eredmények</b> .....	84
<b>8. Összefoglalás</b> .....	87
<b>Irodalom</b> .....	90
<b>Táblázatok és ábrák jegyzéke</b> .....	105
<b>Melléklet</b> .....	108

## KIVONAT

A következőkben egy eddig kevésbé ismert fotopiroelektromos mérési eljárást mutatunk be, amely alkalmas élelmiszerek termikus tulajdonságainak (effuzivitás, diffuzivitás) meghatározására. Az effuzivitás meghatározásához nem álltak, állnak rendelkezésre közvetlen mérési módszerek, hanem csak egy közvetett, számításos módszer. Az effuzivitás értékének közvetlen, direkt mérésére a fotopiroelektromos effektust alapul vevő mérőrendszer ad lehetőséget. Az ún. inverz fotopiroelektromos (IPPE) mérőrendszer kereskedelmi forgalomban nem kapható, méréseinkhez egy egyedileg, laboratóriumban megépített mérőberendezést használtunk. A berendezéssel élelmiszerek effuzivitás értékét határoztuk meg. A kapott eredményeket összehasonlítottuk az irodalomban található értékekkel, illetve eddig nem ismert értékeket határoztunk meg. Az eredmények alapján kijelenthető, hogy a megépített IPPE mérőrendszer alkalmas az élelmiszerek effuzivitás értékének meghatározására. Az élelmiszerek termikus tulajdonságait alapvetően befolyásolják annak összetevői, de különösen a zsír és víztartalom viszonya, ezért számos élelmiszer esetében megvizsgáltuk az effuzivitás értékének a zsírtartalomtól való függését. Az eredmények alapján megállapítható, hogy az élelmiszerek effuzivitás értéke csökken a zsírtartalom növekedésével, míg a víztartalom növekedése az effuzivitás értékének növekedését jelenti. Ugyancsak tanulmányoztuk a szénhidrát-tartalom effuzivitásra gyakorolt hatását is. A közvetlen mérésekkel kapott eredményeket összehasonlítottuk,

az irodalomban megtalálható, fizikai paramétereiből számítható effuzivitás értékekkel. Eredményeink jó egyezést mutatnak.

## 1. Bevezetés

Az alábbiakban egy eddig kevésbé ismert és alkalmazott módszert, a fotopiroelektromos mérési eljárást mutatjuk be. Ez a mérési technika egyszerűen és viszonylag gyorsan szolgáltat információt a vizsgált minta termikus tulajdonságairól (effuzivitásáról).

Az élelmiszerek hőtani viselkedése és tulajdonságai, mint pl. a fázisátmeneti jelenségek, olvadási folyamatok leírásai valamint hődiffúziós együtthatójának, hővezetési tényezőjének és effuzivitásának meghatározásai intenzív érdeklődésre tartanak számot. Az élelmiszer-minőségvizsgálatokban, a minőségbiztosítás során, vagy egy új termék megjelenésekor, fontos a termék fizikai, kémiai paramétereinek ismerete, így minden olyan módszer, amely a korábbiakhoz képest új, vagy újszerű, egyszerűbb, gyorsabb, és talán olcsóbb is, meghatározó jelentőséggel bírhat ezen a területen. A fotopiroelektromos módszer ebbe a kategóriába tartozik.

A hagyományos és a korszerű műszeres módszerek olyan esetekben szolgáltatnak információkat az anyagok hőtani viselkedéséről, amikor a hőkezelés során fizikai és kémiai változások következnek be az anyagban. Hagyományos mérési módszerek közé sorolható a Fich módszer, a vonal hőforrás módszer. A korszerű mérőműszeres módszerek közé pedig – a teljességre való törekvés igénye nélkül – a differenciáló pásztázó kalorimetria (differential scanning calorimetry, DSC), a dilatometria, a mágneses magrezonancián alapuló spektroszkópia (NMR) tartozik. Ezek a módszerek azonban bonyolultak, időigényesek és meglehetősen drágák.



Ezért az alábbiakban egy gyors és viszonylag egyszerű módszert alkalmazunk – elsősorban – kolloid élelmiszerek effuzivitásának meghatározására.

Az ún. fotopiroelektromos (photopyroelectric: PPE) módszer egyike a fototermikus technikák csoportjának. Alapját az abszorbeált sugárzás – sugárzás nélküli átmenetek révén – hővé konvertálódása jelenti. A PPE módszer alkalmas arra, hogy segítségével megvizsgáljuk a keletkezett hő mintán történő áthaladását.

A fototermikus módszerek különböző változatainak elméleti ismertetője mellett bemutatunk egy általunk épített inverz fotopiroelektromos mérőrendszert, amelynek segítségével méréseinket végeztük. Kapott eredményeink kiváló egyezésben vannak az irodalomban található értékekkel, valamint méréseink azt mutatják, hogy a minták effuzivitását a zsírtartalom jelentősen befolyásolja. A mért effuzivitas értékek alapján kísérleteket tettünk, arra, hogy az esetleges élelmiszerhamisítások során (bor, méz hamisítása) az effuzivitas értéke felhasználható-e ezek kimutatására, nyomon követésére.

## 2. Szakirodalmi áttekintés

A lakosság számának rohamos növekedése miatt egyre fontosabb szerep hárul napjainkban az élelmiszeriparra. A feldolgozó és gyártó cégeknek nemcsak a megnövekedett élelmiszer igényt kell fedezniük, hanem az egyre szigorúbb minőségi paramétereknek is eleget kell tenniük. Mindezek mellett pedig még törekedniük kell a minél gazdaságosabb termelésre is. Tehát a gyártó cégeknek elemi érdekük az élelmiszerek előállításához szükséges folyamatok minél pontosabb fizikai, kémiai, mikrobiológiai ismerete, valamint ezen ismeretek folyamatos bővítése. Ezek közé a lényeges ismeretek közé tartozik a különböző élelmiszerek termikus tulajdonságainak ismerete is. Az élelmiszerek termikus tulajdonságainak ismerete nélkülözhetetlen a megfelelő termelési folyamatok optimalizálásához, továbbá a minőségbiztosításnál is jelentős szerepet kap. Például, egy HACCP-t alkalmazó üzem esetében gyakran jelent kritikus pontot a termékek minőségbiztosításában – mikrobiológiai fertőzések megnövekedett esélye miatt – a hőmérséklet folyamatos ellenőrzése, amely nyilvánvalóan az élelmiszerek termikus tulajdonságainak függvénye (Akterian *et al.*, 1999). Az optimális hőmérséklet meghatározásához, beállításához ismerni kell az adott termékre jellemző termikus tulajdonságokat (fajlagos hőkapacitások, hődiffuzivitás, hővezetési tényező, effuzivitás, stb.). Ezek meghatározása élelmiszerek esetében gyakran nem egyszerű feladat. Ez abból adódik, hogy a legtöbb élelmiszer több komponensből áll, a szilárd halmazállapottól a kolloid

halmazállapotig szinte minden formában megjelenhet, amiért összetett komplex „rendszernek” kell tekintenünk az élelmiszereket.

Az élelmiszerek szerkezetének megértéséhez ismerni kell a térbeli diszkontinuitás fogalmát. Diszkontinuitásról akkor beszélünk, ha valamely fizikai vagy kémiai tulajdonság folytonossága megszakad és ugrásszerű változás vagy szakadás következik be. Az ilyen rendszereket diszperz rendszereknek is nevezzük. A diszkontinuitásról előbb leírtak szerint a diszperz rendszerek legalább két komponensből állnak, amelyek közül az egyik apró „szemcsékre” szétosztatva (diszperz fázis) van jelen a másik, összefüggő komponensben (diszperziós közeg).

A diszkontinuitás mértékétől függően három csoportba sorolhatjuk a rendszereket:

1. Heterogén rendszerek
2. Kolloid rendszerek
3. Homogén rendszerek

A felosztás azért vált szükségessé, mert mindhárom rendszernek eltérő törvényszerűségei vannak.

Az általunk is vizsgált kolloid rendszerekhez tartoznak mindazok a rendszerek, amelyek 1 nm és 500 nm közötti méretű diszkontinuitásokat tartalmaznak. Az ekkora méretű diszkontinuitások érzékelésére két módszer ismert, az elektronmikroszkópos és az ultramikroszkópos megfigyelés. A leggyakrabban vizes kolloidok fordulnak elő, de olajok, zsírok és más oldószerek is lehetnek diszperziós közegek.

Az előzőek alapján tehát a kolloid állapot az anyag olyan állapota, amelyben az anyag részecskéinek szubmikroszkópos méretű diszkontinuitásai vannak (*Buzágh, 1951*).

Problémát jelent, hogy egyes összetevők, komponensek roncsolásmentesen a jelenlegi mérési technikákkal nem határozhatók meg, így a vizsgált mintákat már nem lehet értékesíteni, ami tovább növeli a gyártás során keletkező veszteséget. Emellett a minták termikus tulajdonságait legtöbbször csak a terméksorról eltávolítva, laboratóriumi körülmények között lehet megvizsgálni, ami további hibaforrást jelenthet a valós érték meghatározásában. Végül, de nem utolsó sorban a mérések elvégzésére képzett személyzet és műszeres laboratóriumi feltételek kellenek, aminek a kialakítása nagy beruházás a termelő vállalkozások számára. Az előzőekből adódóan tehát, minden új, viszonylag olcsó, gyors, vagy roncsolásmentes eljárás, figyelemfelkeltő lehet a gyakorlat számára is.

### *2.1. Élelmiszerek termikus tulajdonságainak jelentősége*

Az élelmiszerek termikus tulajdonságainak megismerése elkerülhetetlen és nélkülözhetetlen az élelmiszeripar számára. Jelentős számú tudományos közlemény foglalkozik a különböző környezeti feltételek, valamint az eltérő beltartalmi értékekkel rendelkező élelmiszerek termikus tulajdonságainak meghatározásával (*Cogné et al., 2003; Donsi et al., 1996; Kostaropoulos és Saravacod, 1997; Pan és Singh, 2001*). Ez abból adódik, hogy az élelmiszerek gyártása során a termékeket – az esetek jelentős részében – valamilyen hőhatás éri.

Bármilyen hőkezelési folyamatról is legyen szó (hűtési, vagy melegítési) az optimális hőhatás beállításához a termikus paraméterek ismerete feltétlenül szükséges. Az optimális hőhatás beállításával gyakran mikrobiológiai biztonságot hozunk létre a termékben (*Bolton et al., 2000*) és nem utolsósorban csökkenthetjük a termék fajlagos bekerülési költségét. Elég csak a tejiparra, vagy a porlasztással előállított termékekre gondolnunk, nem kevés energia fordítódik a hőkezelési folyamatokra. Mivel a termikus tulajdonságokat, a környezeti feltételek (pl. nyomás, hőmérséklet) és az élelmiszerek beltartalmi tulajdonságai is befolyásolják, azaz szoros kapcsolatban állnak, ezért az élelmiszerek termikus tulajdonságainak vizsgálata fontos kutatási terület.

## 2.2. Élelmiszerek összetételének hatása a termikus tulajdonságokra

Az élelmiszerek hőtani tulajdonságait, amelyek rendkívül fontosak a feldolgozóipar számára, az élelmiszerek összetétele lényegesen befolyásolja (*Lindsay és Lovatt, 1994; Sablani és Rahman, 2003; Willix et al., 1998*). Az élelmiszerek sajátos összetételének négy fő alkotója a víz, a fehérje, a zsír és a szénhidrát, amelyek aránya élelmiszerekenként változik. Az élelmiszerekben található zsír- és a víztartalom nagymértékben befolyásolja az élelmiszerek termikus tulajdonságait (*Gavrilă et al., 2005; Szafner és Dóka, 2010*).

A fehérje hatása az élelmiszerek egyes termikus tulajdonságokra DSC méréseknél szintén ismertek (*Kijowski és Mast, 1988*).

A szénhidráttartalom, mint élelmiszer összetevő hatása az élelmiszerek termikus tulajdonságaira nem ismertek, nincsenek irodalmi előzmények.

Az élelmiszerek zsírtartalmának meghatározására számos módszer ismert. Ezek közé tartozik a spektrofotometriás módszer (*Forcato et al., 2005; Hornero-Méndez et al., 2001; Rylat és Parish, 1982*), a van Gulik módszer (*Koca és Metin, 2004*), a DSC (*Oakenfull et al., 1999*), valamint a gravimetriás módszer (*Evers et al., 1999*). Az előbb említett módszereken kívül még kémiai úton is meg lehet határozni az élelmiszerek zsírtartalmát. Ilyen módszerek a Röse-Gottlieb módszer (*Crocker et al., 1955*), butirométeres meghatározás (Gerber módszer) (*Kleyn et al., 2001*) és a soxhlet extraakció (*Sukhija és Palmquist, 1988*).

Az élelmiszerek fehérjetartalmának meghatározására is számos kémiai és fizikai módszer ismert. Kémiai módszerek közül a legelterjedtebb a Kjeldahl-féle kénsavas roncsolás (*Barbano és Clark, 1990; Sweeney és Rexroad, 1987*) és a Dumas-féle égetéses módszer (*Thompson et al., 2002; Wiles et al., 1998*). A Kjeldahl módszernél a szerves anyagot tömény kénsavval főzik majd a keletkező ammóniát lúggal felszabadítják, majd savban desztillálják és titrálják. A Dumas-féle módszernél a szerves anyagot 700-1000 °C hőmérsékleten elégetik réz-oxid jelenlétében. Ezután a tiszta nitrogéngázt gázvolumetriásan, vagy hővezetőképességi detektorral meghatározzák, és ebből számítják a teljes fehérjetartalmat (*Csapó és Csapóné Kiss, 2003*).

Az élelmiszerekben a víz általában három formában van jelen. Ez alapján beszélhetünk szabad, adszorbeált és kémiaailag kötött vízről.

Ezek megoszlása függ az adott élelmiszer összetevőinek szerkezetétől és arányától. Az élelmiszerek víztartalmának meghatározására számos módszer ismert, melyeket két nagy csoportba lehet sorolni. Az egyik ilyen csoport a referencia módszerek. A referencia módszerekkel a nedvesség tartalmat közvetlenül határozzák meg. Ide tartoznak a különböző szárítószelekrényes módszerek. A módszer lényege, hogy nem a tényleges nedvesség tartalmat határozza meg, hanem a szárítás során bekövetkezett tömegvesztés. A tömegcsökkenésből számítható érték a hivatalosan elfogadott nedvességtartalom. A nedvességtartalom meghatározásának szárítási feltételeit a Magyar Szabvány különböző számú paragrafusai tartalmazzák. A módszer hátránya, hogy laboratóriumhoz kötött és viszonylag hosszú az egyes minták nedvességtartalmának meghatározása. A másik nagy csoportba a gyors módszerek tartoznak. Ide sorolható a neutronreflexión, a közeli infravörös (NIR) reflexión alapuló módszerek (*Schmilovitch et al., 1999*), továbbá valamilyen elektromos tulajdonság mérésén alapuló módszerek (*Topp et al., 1980*).

A neutronreflexión alapuló módszer lényege, hogy a mérendő anyagba behatoló nagy kinetikus energiájú (gyors) neutronok a vízmolekulák hidrogén atomjával való találkozásnál kinetikus energiájukat elvesztik (lelassulnak). Ennek megfelelően a neutronok bizonyos hányada termikus (ún. lassú) neutronokká alakul, amelyek száma detektorral mérhető. Így a lassú neutronok intenzitása arányos a nedvesség tartalommal (*Schwendel et al., 2003*).

A NIR reflexión alapuló mérési módszernél a mintára és egy ismert nedvességtartalmú anyagra meghatározott hullámhosszúságú

infravörös sugárzást bocsátunk. A detektor a referencia mintához viszonyítva méri az anyaggal való kölcsönhatás révén visszavert sugárzás intenzitását (*Hunt és Rock, 1989*).

Az elektromos nedvességmérők előnye a gyorsaságuk. Az elektromos nedvesség mérők az anyagok elektromos vezetőképességéből, vagy azok dielektromos tulajdonságából határozzák meg a víztartalmat.

A vezetőképesség mérésén alapuló módszerek alapját az jelenti, hogy általában az anyagok nedvességtartalma befolyásolja az elektromos ellenállásukat. Így – kihasználva az ellenállás víztartalomtól való függését – a vizsgált minták nedvességtartalmát meg lehet határozni. A mérési módszer hátránya, hogy nagy hibahatárral dolgozik, mert a vezetőképességet nem csak a nedvességtartalom, hanem egyéb tényezők (hőmérséklet, sótartalom, hiszterézis a víztartalom függésében) is befolyásolják (*Topp et al., 1980*).

### *2.3. Élelmiszereket jellemző főbb termikus és optikai paraméterek*

A fototermikus folyamatok alkalmasak arra, hogy alkalmazásukkal különböző optikai és hőtani adatokat kaphatunk a vizsgált anyagokról. Mielőtt rátérnénk a fototermikus technikák ismertetésére, érdemes néhány ide tartozó fizikai mennyiség definícióját és a köztük lévő kapcsolatokat áttekinteni.



### *Fajlagos hőkapacitás*

A fajlagos hőkapacitás ( $c$ ), megadja, hogy mennyi hőt ( $Q$ ) kell közölni egységnyi tömegű anyaggal ahhoz, hogy a hőmérséklete ( $T$ ) egy fokkal megemelkedjék:

$$c = \frac{dQ}{m \cdot dT} \left[ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right] \quad [1]$$

ahol  $m$  a tömeg. A fajlagos hőkapacitás értelmezhető állandó térfogaton ( $c_v$ ) és állandó nyomáson ( $c_p$ ) is.

### *Hővezetési tényező*

A hővezetési tényező ( $\kappa$ ), megadja az egységnyi idő alatt, egységnyi keresztmetszeten, egységnyi hőmérsékletkülönbség hatására átáramló hőmennyiséget:

$$\kappa = -\frac{1}{A} \frac{dQ}{dt} \cdot \frac{dx}{dT} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right] \quad [2]$$

ahol  $dQ$  az átáramlott hőmennyiség,  $A$  a keresztmetszet,  $dt$  az idő,  $dx$  a lemezvastagság és  $dT$  a hőmérsékletkülönbség.

*Effuzivitás*

A termodinamikában az effuzivitás ( $e$ ) a hővezetési tényező a sűrűség és a fajlagos hőkapacitás szorzatának négyzetgyöke:

$$e = \sqrt{\kappa \cdot \rho \cdot c} \left[ \frac{W \cdot s^{\frac{1}{2}}}{m^2 \cdot K} \right] \quad [3]$$

*Hődiffúzió*

A hődiffúziós tényező (hőmérsékletvezető képesség) az anyag belsejében a hővezetés sebességét jellemző mennyiség. A hődiffúziós tényező a hővezetési tényező, a fajlagos hőkapacitás és a sűrűség szorzatának hányadosa, azaz

$$\alpha = \frac{\kappa}{\rho \cdot c} \left[ \frac{m^2}{s} \right] \quad [4]$$

*A hődiffúziós hossz*

A hődiffúziós hossz ( $\mu_l$ ), azt adja meg, hogy a hőhullám amplitúdója milyen távolságon belül csökken e-ed részére:

$$\mu_l = \sqrt{\frac{\alpha}{\pi \cdot f}} = \sqrt{\frac{2\alpha}{\omega}} [m] \quad [5]$$

### *Optikai abszorpciós úthossz*

Az optikai abszorpciós úthossz ( $\mu_{\beta}$ ) az a távolság, amelyen belül a minta felületére érkező fényintenzitás értéke e-ed részére csökken. A Lambert-Beer törvényt feltételezve ez egyszerűen számítható, azaz

$$\mu_{\beta} = \frac{1}{\beta} \quad [6]$$

Ha az anyag vastagsága kisebb, mint az optikai abszorpciós úthossz, akkor az anyag optikailag vékony, vagy átlátszó. Egyébként pedig, ha az anyag vastagsága meghaladja az optikai diffúziós hosszt, akkor az anyag optikailag vastag, vagy átlátszatlan. Ezen szempontok alapján - figyelemmel arra, hogy ha a minta vastagsága nagyobb, mint a termikus diffúziós hossz, akkor termikusan vastag, egyébként termikusan vékony mintáról beszélünk - összesen négyféle esetet különböztethetünk meg:

- termikusan vékony, optikailag vékony;
- termikusan vastag, optikailag vékony;
- termikusan vékony, optikailag vastag;
- termikusan vastag, optikailag vastag.

### *2.4. Effuzivitás*

Az előzőekben felsorolt hőtani tulajdonságok közül az effuzivitás a legkevésbé ismert, mért és használt termikus tulajdonsága az

anyagoknak, pedig a mindennapi életben naponta találkozhatunk az effuzivitás által befolyásolt jelenségekkel. Az effuzivitás értéke megmutatja két különböző anyag határfelületén történő hőcsere mértékét. A mindennapi életben a jelenséget akkor figyelhetjük meg igazán, ha két azonos hőmérsékletű anyagot tekintünk, pl. egy vas és egy fa tárgyat (eltérő anyagi tulajdonságok) és tenyerünkkel megfogjuk mindkét tárgyat. A vas „hidegnek”, míg a fa „melegebbnek” tűnik az észlelő számára. Ezt a látszólagos hőmérséklet különbséget az effuzivitás okozza. Azért látszólagos, mert a két tárgy hőmérséklete a valóságban megegyezik, mivel az effuzivitás értékük különböző, ezért a kéz hőjének elvezetése is eltérő lesz. A vasat hidegebbnek érezzük, a nagy effuzivitás érték miatt (ez gyors hőátadást jelent), míg a fa tárgyat melegebbnek, a kisebb effuzivitás érték miatt, ami lassabb hőátadást jelent.

Hasonlóan jó példa az effuzivitás megértésére, ha mezítláb sétálunk egy szobában. Ha a szőnyegen sétálunk „melegebbnek” érezzük a talajt, mint amikor pl. laminált padlón. Az elv ebben az esetben is ugyanaz, mint az előző példánál. Ezen tárgyak hőmérséklete megegyezik, csak az effuzivitásukban különböznek, ami a különböző hőérzetet okozza. A szakirodalomban ezt „warm-cool feeling”-nek is nevezik.

Az ide vonatkozó szakirodalomban jelentős azon anyagok száma, beleértve az élelmiszereket is, amelyek effuzivitás értékét már meghatározták (*Abdel-Aal, 2001; Aljaafari et al., 2011; Arámbula-Villa et al., 2007; Dadarlat et al., 1995c; Hernandez-Guevara et al., 2000; Longuemart et al., 2002; Raykar és Singh, 2010a; Raykar és*

*Singh, 2010b; Szafner és Dóka, 2010b*). Ugyanakkor az élelmiszeripari alkalmazása egyáltalán nem terjedt el, miközben egyéb hőtani tulajdonságokat számos esetben használnak technológiai folyamatok optimalizálására, valamint minőségbiztosítási célokból is.

#### *2.4.1. Nem élelmiszerek effuzivitása*

Amint azt már említettük az effuzivitas befolyásolja az anyagok hőérzetét azok érintése során. Ebből következik, hogy a mindennapi életben számos területen fontos ennek a termikus paraméternek a vizsgálata. Ilyen terület többek között a textilipar és a textilipari termékek effuzivitas értékének meghatározása, hiszen a felvett ruhák „hőérzete” nagyban befolyásolja azok viselésének komfortérzetét is. Nem véletlen tehát, hogy az effuzivitas értékének meghatározása a textiliparban, illetve a textilipari termékeknél nagy jelentőséggel bír (*Bedek et al., 2011*). Az építőiparban is jelentős az anyagok effuzivitas értékének ismerete (*Antczak et al., 2007; Tilli és Sousa, 2009*). *Douzane és munkatársai (1999)* egy általuk megépített mérőrendszer és egy elméleti modell segítségével határozták meg építési anyagok hődiffúziós együtthatóját és effuzivitasát. Sík-hőforrás módszerrel mérték a minták hővezetési tényezőjét, így a hővezetési tényező és a hődiffúziós együttható ismeretében kiszámították a minták effuzivitas értékeit. A számított effuzivitas értéket összehasonlították az irodalomban megtalálható értékekkel. Vizsgálataikat polisztirol és márvány mintákon végezték el. Mindkét minta hődiffúziós értékét meghatározták 6 és 48 °C hőmérséklet tartomány között. Eredményül

kapták, hogy az általuk elkészített mérőrendszer alkalmas a nem homogén szilárd testek hődiffuzivitás valamint effuzivitás értékének meghatározására. Méréseik alapján kijelenthető, hogy az általuk mért hőmérséklet tartományon belül a polisztirol a hőmérséklet növelésével nagyobb effuzivitás értékeket mutatott, míg márvány minta esetében az effuzivitás érték a minta hőmérsékletének növelése mellett kismértékű csökkenést mutatott.

Az építőiparban nem csak az épületek falának termikus tulajdonságai lényegesek, hanem a szigetelőanyagoké is. *El-Brollossy és Ibrahim (2010)* polisztirol termikus tulajdonságait (diffúzivitás, effuzivitás, hővezetési tényező) határozták meg kismértékű fém oxid (cink-oxid és mangán-oxid) tartalom mellett. Eredményül kapták, hogy a cink-oxid sokkal nagyobb mértékben képes megváltoztatni a polisztirol hővezetési tényezőjét, mint a mangán-oxid. *Wastiels és munkatársai (2012)* az épületeken belül, különböző anyagból készült ajtók effuzivitás értékeit hasonlították össze. Az általuk vizsgált anyagok közül a legnagyobb effuzivitás értékkel az acél ( $13782 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ) rendelkezik, míg a legkisebb effuzivitás értékkel a fa ( $399 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ). Ezek mellett többféle fafajta (16 eltérő fajta) effuzivitása és ezek összehasonlítása más építési anyagokkal (üveg, kő, acél, arany, gránit) is megtalálható az irodalomban (*Obata et al., 2005*). A fafajta effuzivitás értékei  $122$  és  $874 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$  között vannak, acél, gránit és arany esetében ennél nagyobb ( $12530 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ,  $3540 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ,  $28000 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ) értékeket kaptak. *Abdelalim és munkatársai (2010)* az építőipar számára nagy fontossággal bíró, különböző mennyiségű, vízzel

rehidratált cementpor effuzivitás értékét határozták meg azonnal a keverést követően, egy hét és egy hónap elteltével. Méréseik alapján a legkisebb effuzivitás értékkel közvetlenül a keverés után mért 0,6 tömegszázalékos víz/cement arányú minta rendelkezett. Azt is megállapították, hogy az idő függvényében mind a négy különböző cement tartalmú minta effuzivitás értéke növekedett.

Harmadik fontos területe a termikus tulajdonságok, köztük az effuzivitás érték ismeretének, az elektronika. Itt elsősorban a vékony, sokszor filmszerű rétegek hőtani tulajdonságai fontosak (*Martan et al., 2005*). Ilyennek tekinthetjük a mikroszepek felületét is. Mivel ezek működésük közben hőt termelnek, ezért egyik fontos tulajdonságuk az így keletkezett hő leadására való hajlandóság, amely jól jellemezhető effuzivitásukkal. Az elektronikában alkalmazott filmszerű rétegek effuzivitás értékét dielektromos oldatokban ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  96%) is megvizsgálták (*Hmina és Scudeller, 1998*). Kimutatták, hogy a filmszerű rétegen kialakuló szennyeződések befolyásolják annak effuzivitás értékét. Ebből következik, hogy az elektronikában használt filmszerű rétegek szennyeződésének mértékét a réteg effuzivitásának mérésével meg lehet határozni.

Bár nem elterjedt az alkalmazás, de termőföld effuzivitás értékét is határozták már meg, a föld víztartalmának figyelembevételével (*Antczak et al., 2003*). Mivel a termőföld víztartalma lényeges a mezőgazdaság számára, így annak gyors és közvetlen meghatározása is nagy fontossággal bír. Eredményül kapták, hogy a termőföld effuzivitás értékének meghatározásával annak víztartalmát is meg lehet határozni. Méréseiket 24 órás időtartammal végezték egyszerre

három különböző mélységben. A mérés időtartama alatt a nyolcadik órától elkezdett esni az eső, ezért a mért talaj nedvességtartalma jelentősen megnőtt, ami a termőföld effuzivitás értékét is megnövelte. *Carpentier et al.*, (2008) agyag és homoktalajok termikus paramétereit (effuzivitás, diffuzivitás) határozták meg, laboratóriumi és természetes körülmények között egyaránt, és a két környezetben való mérés értékei között csupán 5% eltérést kaptak. További eredményük, hogy az agyag effuzivitás értéke lényegesen nagyobb ( $1970 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ), mint a homoké ( $575 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ).

*Sankar és Ramachandran* (2003) ZnSe, ZnSe:P (foszforral szennyezett) és ZnSe:P,Ga (foszforral és Ga szennyezett) kristályok effuzivitás értékeit határozták meg fotoakusztikus spektroszkópiával és DSC-vel. Eredményül kapták, hogy a szennyezett kristályok effuzivitás értékei nagyobbak, mint a nem szennyezett ZnSe kristály effuzivitás értéke.

*Noroozi és munkatársai* (2012) desztillált vízben, olíva olajban, valamint etilén-glikolban diszpergálva  $\text{Al}_2\text{O}_3$  és CuO effuzivitás értékeit határozták meg. Eredményül kapták, hogy az etilén-glikolba valamint az olíva olajba diszpergált  $\text{Al}_2\text{O}_3$  és CuO effuzivitás értéke kisebb, mint a desztillált vízben diszpergált  $\text{Al}_2\text{O}_3$  és CuO effuzivitás értéke. Az olíva olajban diszpergált  $\text{Al}_2\text{O}_3$  és CuO effuzivitás értéke mindössze harmada ( $614 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$  és  $577 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ) volt a vízben diszpergált  $\text{Al}_2\text{O}_3$  és CuO-hoz képest ( $1566 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$  és  $1547 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ).

A fentiek mellett dízelüzemanyag, biodízel, etanol, etilén-glikol (*Guimarães et al.*, 2012), glicerin foszfát (*Preethy Menon et al.*,



2001), üveg, PVC, és gyémánt (*Martinsons és Heuret, 1998*), emberi bőr (*Marín, 2007b*) és  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (*Dadarlat és Frandas, 1993*) effuzivitás értékét is mérték.

*Zaidi és Senouci (1999)* fékbetéteknél használt szénacél termikus tulajdonságait határozták meg és figyelték meg, hogy ezek miként befolyásolják a fékbetétek kopását. Kísérletüket különböző csúszási sebességeken végezték és meghatározták a hozzájuk tartozó, súrlódásból eredő, hőmérsékleteket. Megállapították, hogy a fékbetétek hőmérséklete függ a betétek geometriájától, valamint a fék és a dob anyagának effuzivitás értékétől és hővezetési tényezőjétől. Vizsgálataik azt mutatják, hogy amennyiben a fékbetétek hőmérséklete egy kritikus érték ( $90\text{ }^\circ\text{C}$ ) fölé emelkedett, akkor a fékek kopása megnövekedett.

*Aguirre és munkatársai (2004)* érdekes kísérletet végeztek, dehidratáció során mérték a szilika gélben lévő nitrifikáló és denitrifikáló baktériumok hatását az effuzivitásra. A vizsgálatokat  $27$  és  $40\text{ }^\circ\text{C}$  hőmérséklet tartományon belül végezték el. Azt állapították meg, hogy a nitrifikáló baktériumokat tartalmazó szilika gél esetében a hőmérséklet csökkenés a minta effuzivitás értékének növekedését okozza, ezzel szemben a denitrifikáló baktériumot tartalmazó szilika gélnél a minta effuzivitás értékének csökkenését tapasztalták.

A fenti példákból jól látható, hogy az anyagok effuzivitás értékének ismerete az ipar számos területén hasznos lehet.

#### 2.4.2. Élelmiszeripari termékek és alapanyagok effuzivitás értékei

Az effuzivitás értékének meghatározása az élelmiszeriparban még nem olyan gyakori, mint pl. hővezetési tényezőnek, vagy egyéb hőtani paramétereknek. Ennek oka lehet, hogy míg a textíliáknál, vagy az épületeknél a megfelelő komfortérzet kialakításához nélkülözhetetlen az effuzivitás ismerete, addig az élelmiszereknél ez nem elsőrendű tulajdonság. Ha figyelembe vesszük azonban, hogy az effuzivitás ismeretében számos más termikus paraméter meghatározható, valamint egy termék érzékszervi bírálatánál annak „megtapintása” és az ebből származó érzet is befolyásolja a termék megítélését, az effuzivitás meghatározása előtérbe kerülhet. Arról nem is beszélve, hogy az effuzivitás értékét is nagyban befolyásolja az élelmiszerek összetétele (*Szafner et al., 2011*), így az effuzivitás értékének meghatározása minőségbiztosítási szempontból is lényeges szerephez juthat az élelmiszeripar területén.

Annak ellenére, hogy az élelmiszeriparban az effuzivitás érték meghatározása még nem terjedt el széles körben, számos közlemény található, amely élelmiszerek effuzivitásának meghatározásával foglalkozik. *Balderaz-López (2003)* desztillált víz és olíva olaj effuzivitás értékeit határozta meg fotopiroelektromos módszerrel. *Szafner és munkatársai (2010)* különböző élelmiszerek effuzivitás értékét határozták meg. A vizsgált mintákat három csoportba osztották, a nagy víztartalmú mintákra, a nagy zsírtartalmú mintákra és a bébi ételekre, amelyeknél – valószínű az állaguk miatt – az effuzivitás értékük eltért az előző két csoporttól. A kapott eredmények

alapján elmondható, hogy a nagy zsírtartalmú minták esetében kicsi, míg a nagy víztartalmú minták esetében a vízhez közelítő nagy effuzivitás értékek adódtak. Bébiételek (Szafner et al., 2010), margarin, joghurt, tejsodó (Bicanic et al., 1994), különböző olajok, zsírsavak (Dadarlat et al., 1995b; Dadarlat et al., 1995c) és eltérő fajok tojásainak (Szafner et al., 2012) effuzivitása is ismert az irodalomból.

#### *2.4.2.1. Élelmiszerek effuzivitás értékének meghatározása*

Élelmiszerek effuzivitás értékének egyik meghatározási módja, hogy kiszámítjuk a fajlagos hőkapacitás, sűrűség és hővezetési tényező szorzatának négyzetgyökeként, vagy a másik közvetlen eljárás, hogy fototermikus módszer alkalmazásával mérjük.

A fotopiroelektromos effektust felhasználó mérőrendszerrel szinte párhuzamosan fejlődik egy harmadik meghatározási módszer is, amely fotoakusztikus mérési módszeren alapul.

Az élelmiszerek effuzivitásának meghatározása hosszú időn keresztül csak számításos úton volt elvégezhető, a közvetlen mérésre csak a fotopiroelektromos módszer megismerése után nyílt lehetőség, így az eddig csupán elméleti alapokon nyugvó összefüggést, kísérleti úton is lehet igazolni.

Az effuzivitás érték számításához tehát a korábban említett három paraméter (sűrűség, fajlagos hőkapacitás, hővezetés) pontos ismerete szükséges. Egyes tulajdonságokat meg lehet találni az irodalomban, azonban az élelmiszerek sokfélesége, és akár egy gyártón belüli

eltérése miatt is szükséges az adott élelmiszer fizikai jellemzőinek mérése.

A fajlagos hőkapacitás mérésére számos módszer ismert. Egyik ismert módszer a kalorimetriás meghatározás (*Peralta Rodrigues et al., 1995; Tabil et al., 2003; Wadsö és Galindo, 2009*). Kalorimetrián a fizikai és kémiai folyamatokat kísérő energiaváltozások – elnyelt vagy felszabadult hőmennyiség – mérését értjük.

Folyadékok fajlagos hőkapacitásának meghatározására alkalmas továbbá a mágneses magrezonancia spektroszkópia (NMR) (*Cornillon és Andrieu, 1995; Gultekin és Gore, 2010; Gultekin és Gore, 2011*), valamint a differenciáló pásztázó kalorimetrikus módszer (DSC) (*Lopez et al., 2006*) is. A NMR mérési módszernél a létrejött jelenség az atommag kvantummechanikai tulajdonságain alapul. A mintát egy mágneses mezőbe helyezik és besugározzák egy másik rádiófrekvenciás (elektro)mágneses térrel. A minta ezt a besugárzást rezonanciaszerűen (bizonyos frekvenciákon) elnyeli. Az atommagok spinje (impulzusmomentuma) és az ezzel arányos mágneses momentuma által meghatározott síknak, a mágneses tér irányába eső merőleges vetületének függvényében az energia állapotuk felhasad. Az ezen energia állapotok közti atommagokat elektromágneses hullámmal gerjesztve elnyelik – másik energiaállapotba mennek át – az elektromágneses hullámot, majd kibocsátják és visszatérnek eredeti állapotba. Az így kibocsátott energia detektálható. Az állapotváltozást előidéző elektromágneses hullám frekvenciája a Lamorf-frekvencia.

A DSC-módszer olyan termoanalitikai technika, amely anyagátalakulási folyamatok hőáramának (a mintában bekövetkező

hőenergia -fejlődés vagy -elnyelődés sebességének) a mérését teszi lehetővé a hőmérséklet, illetve az idő függvényében. A mért hőáram az átalakulási folyamat endoterm vagy exoterm voltának, illetve a hőkapacitás változásának a függvénye.

*Gultekin és Gore (2010)* három különböző anyag (víz, etilén-glikol, glicerin) fajlagos hőkapacitását határozták meg az NMR segítségével. Eredményül kapták, hogy az NMR mérési módszer széles körben alkalmazható különböző folyadékok fajlagos hőkapacitásának meghatározására. A víz az etilén-glikol és a glicerin fajlagos hőkapacitásának értékei – szobahőmérsékleten mérve – az NMR beállításától függően ( $\sigma$ ,  $\Omega$ , M) az *1. táblázatban* láthatók.

*1. táblázat: Vízre, etilén-glikolra és glicerin mért fajlagos hőkapacitás értékek.*

<b>Atom termikus koefficiens</b>	<b>Fajlagos hőkapacitás</b>		
	<b>J·kg<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup></b>		
	<b>Víz</b>	<b>Etilén-glikol</b>	<b>Glicerin</b>
$\sigma$	4315	2369	2459
$\Omega$	4672	2516	2401
M	4433	2424	2554

Ezen túlmenően a módszer még biológiai anyagok és szövetek fajlagos hőkapacitásának meghatározására is alkalmas, ami nagyon fontos az élettan és gyógyászat területén.

*Hu és munkatársai (2009)* különböző zsírtartalmú tejminták fajlagos hőkapacitását DSC módszerrel határozták meg. A mérések során öt eltérő zsírtartalmú tejmintát vizsgáltak 1-59 °C hőmérséklettartomány között. Vizsgálataik eredménye, hogy a DSC készülékkel nagy pontossággal reprodukálható értékeket kaptak, valamint a tej zsírtartalmának növelésével csökkenő fajlagos hőkapacitást tapasztaltak. *Kemp és munkatársai (2009)* sertés-, marha- és juh miofibrilláris fehérje és zsír hőkapacitását határozták meg DSC módszerrel a 30 és 85 °C hőmérséklettartományban. Megállapították, hogy mindhárom húsminta esetében a hőkapacitás az 55-65 °C tartományban érte el a maximumát, amelynek oka a minták fehérje-összetételével magyarázható. Méréseik alapján a sertés miofibrilláris fehérjének volt a legkisebb hőkapacitása. A zsírmintáknál a hőkapacitások kétfázisú csúcsokat mutatnak, amelynek oka, hogy a zsírminták különböző frakciókból épülnek föl, amelyeknek eltérő az olvadáspontja.

A hővezetési tényező meghatározására is többféle módszer létezik. A legelterjedtebb módszer a vonal hőforrás módszer (*Coquard et al., 2006; Jury et al., 2007; Kantrong et al., 2009; Li et al., 2008; Murakami 1996; Murakami et al., 1996; Seiferlin et al., 1996; Yamasue et al., 2002*), ezen kívül ismert a sík hőforrás módszer (*Huang és Liu, 2009; Solórzano et al., 2008*) és a piroelektromos kalorimetriás módszer (*Coufal és Hefferle, 1985*).

A vonal hőforrás mérési módszer egy az átmérőjéhez viszonyítva végtelen hosszúságú, úgynevezett vonal hőforráson alapszik, amely a mintát melegíti és a mintában jól meghatározott távolságban

elhelyezett hőmérők segítségével mérjük a hőmérsékletváltozást. A fűtés intenzitásából, a geometriai méretekből, valamint a fűtőszál és minta hőmérséklet különbségének időbeli függéséből a hővezetési tényező meghatározható.

A sík hőforrás módszernél a vonal hőforrás módszerrel ellentétben a minta egy fűtőlapon (a hosszúságához viszonyítva jelentős a fűtőlapp szélessége) helyezkedik el. A mintában két különböző távolságra hőmérőket helyeznek el, amelyek távolsága állandó a mérés folyamán. A két hőmérő által mért hőmérsékletből, a távolságukból, valamint a fűtőlapp hőleadásának ismeretében a mért minta hővezetési tényezőjének értéke meghatározható.

A piroelektromos kalorimetriánál a detektorban lévő polyvinylidindifluoride fóliát a látható hullámhossztartományban lévő fénynyalábbal világítják meg, ami az abszorpciót követően hővé alakul, majd ez elektromos jelet kelt, amit detektálunk.

*Rodríguez és Cruz (2003)* fotoakusztikus mérési módszert alkalmazott amiláz, amilopektin és keményítő hővezetési tényezőjének meghatározására. A fotoakusztikus mérési módszernél a mintát szaggatott fényvel világítják meg. A mintán a fénynyaláb abszorbeálódik és felmelegíti azt. Az így keletkezett hő felmelegíti a mintatartóban, a mintát körülvevő gázt. Mivel az abszorpció periodikus, ezért a kamrában nyomásingadozás (hang) jön létre, amit mikrofonnal detektálhatunk (*Soldner és Stephan, 1999*). A keletkezett nyomásingadozás (hang) nagyságát nagyban befolyásolja a minta hővezetési tényezője, ezért a keletkezett nyomáskülönbség – illetve a nyomáskülönbség által generált elektromos jel – mértékével (hang) jól

jellemezhető. Amennyiben a mintát a modulációs frekvencia függvényében vizsgáljuk, akkor a kapott jel görbéjére illesztett egyenes meredekségéből kiszámítható a minta hővezetési tényezője.

A kétcsatornás ac kalorimetria segítségével a fajlagos hőkapacitást és a hővezetést is meg lehet határozni különböző anyagoknál (*Minakov et al., 2003*). A kétcsatornás kalorimetriánál a mérés módszere megegyezik a szokványos kalorimetriával, azonban a minta ennél a konfigurációnál két eltérő ismert termikus tulajdonságú (ismert a fajlagos hőkapacitás és a hővezetési tényező) dielektromos rúd között helyezkedik el. A rudak és a minta között jó termikus kapcsolat van. A mintát a mérés alatt meghatározott frekvencián periodikusan melegítik. A rudak és a minta közé hőmérséklet mérésére alkalmas detektorokat (réz-konstantán hőelemeket) helyeztek. Az így detektált periodikus hőmérséklet változásból, a minta vastagságából a fajlagos hőkapacitás és a hővezetési tényező meghatározható.

#### 2.4.2.2. Effuzivitás érték meghatározása fotoakusztikus módszerrel

A fotoakusztikus módszer szintén alkalmas különféle anyagok (kolloid anyagok) effuzivitás értékének meghatározására (*Delgado et al., 2008*). *Balderaz-Lopez (1999)* különböző anyagok (desztillált víz, glicerin, etanol, metanol és különböző olajok) effuzivitás értékét határozta meg. Az etilén és a fekete tinta effuzivitás értékét *Delgado-Vasallo és munkatársai (2000)* határozták meg fotoakusztikus mérési módszerrel. Az általuk megépített mérőcella alkalmas különböző folyadékok effuzivitás értékének meghatározására. Az etilénre mért



effuzivitás érték  $550 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ , míg a fekete tinta effuzivitás értéke  $570 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$  volt.

Egyes folyékony kristályos polimerek (LPC1 – poli(4-hexametilénoksi-4'-3-metil butiloxi carbonil-benzil benzolát) sziloxan–, LPC93 – poli(metil sziloxi, 4-ciano-4'-tetrametilénoksi-bifenil-sziloxán) – és LPC95 – poli(4-ciano-4'-profiloxi-bifenil) akrilát – effuzivitás értékét is meghatározták már fotoakusztikus módszerrel (*Nibu et al., 2001*).

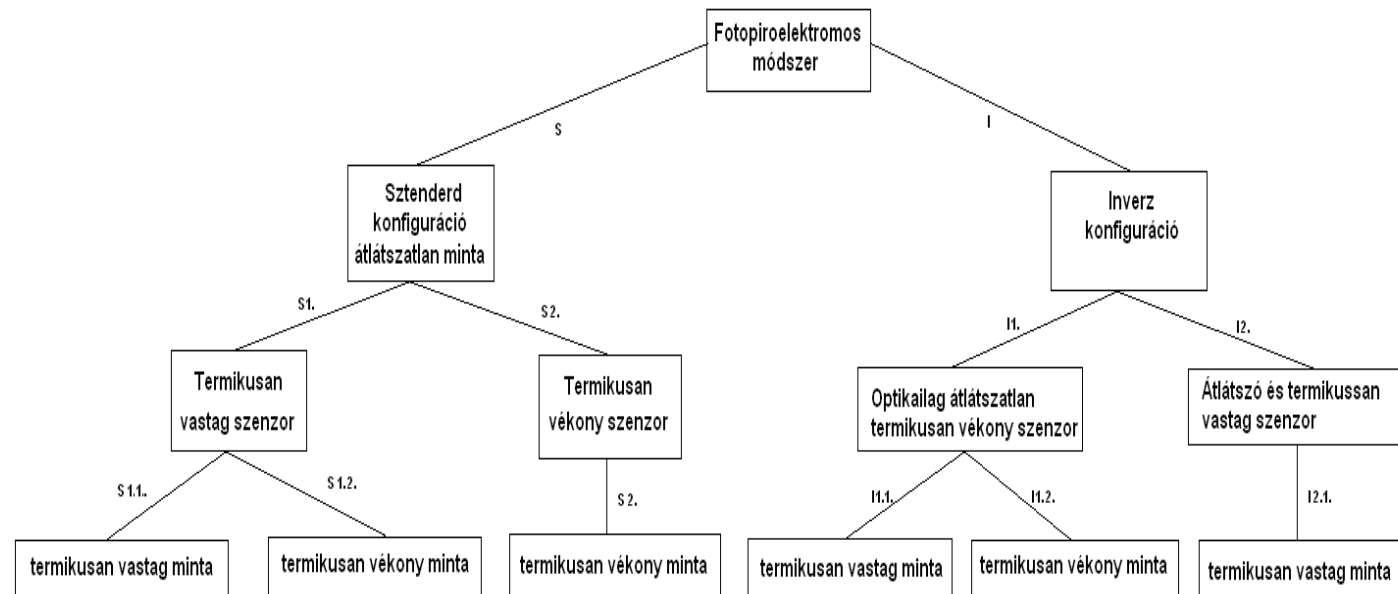
Eredményük, hogy az LPC1  $741 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$  az LPC93  $728 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$  míg az LPC95  $687 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$  effuzivitás értékkel rendelkezik. Ezen kívül koleszterin és 1-hexadecanol különböző arányú (70:30; 60:40; 50:50; 40:60) szuszpenzióinak effuzivitás értéke is ismert az irodalomban (*Sajan et al., 2007*). A kísérletük eredménye, hogy az 1-hexadecanol arányának növelésével a minták effuzivitás értéke lineárisan csökken. A 70:30-as arányú minta effuzivitás értéke  $17,1 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ , a 60:40-es arányú mintáé  $16,5 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$  az 50:50-es mintáé  $16,0 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$  és a 40:60-as mintáé  $15,5 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$  volt.

Ismert az irodalomban továbbá kókuszolaj, metanol és ezen összetevők keverékéből származó minták effuzivitás értéke (*Al-asfoor et al., 2008*). Az effuzivitás értékek a mért etanolra  $524 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ , metanolra  $644 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$  és glicerinre  $902 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ -nek adódtak, amelyek megegyeznek az irodalomban található értékekkel, valamint a metanollal kezelt kókuszolaj minták effuzivitás értéke a minták metanol tartalmának növelésével csökkent.

*Raykar és Singh (2011)* etilén glikolba szuszpendált  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  effuzivitás értékét vizsgálták és eredményül  $93 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ -t kaptak.

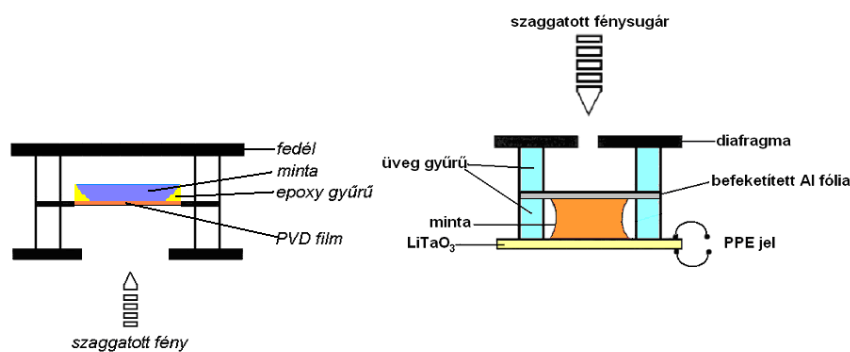
### *2.4.3. Effuzivitás értékek meghatározására szolgáló PPE mérési módszer konfigurációi és elméleti háttere*

A fotopiroelektromos effektust felhasználó módszer közvetlenül alkalmas a vizsgált minta effuzivitás értékének meghatározására. A fotopiroelektromos mérőrendszereknél a minta és a piroelektromos fólia elhelyezésétől függően két csoportra oszthatók a konfigurációk: a sztenderd (SPPE) vagy újabban „back”, és az inverz (IPPE) vagy újabban „front” konfigurációra (1. ábra) (Dadarlat et al., 1990). Mindkét mérési konfiguráció alkalmas különböző anyagok, köztük élelmiszerek effuzivitás értékének mérésére (Chirtoc et al., 2001; Dadarlat és Pop, 2012).



1. ábra: A PPE mérő rendszerek konfigurációinak változatai a minta, valamint a szenzor vastagságának figyelembe vételével (Dadarlat et al., 1995a)

A két mérési módszer összehasonlítása már megtörtént (*Dadarlat és Neamtu, 2009*), amelynek legfontosabb eredménye, hogy míg az inverz konfiguráció esetében az effuzivitás érték a jel amplitúdójából, valamint a fázisából egyaránt számítható, addig a sztenderd konfiguráció esetében csak a jel fázisából lehet az effuzivitás értéket meghatározni. A SPPE és IPPE konfigurációkat a 2. ábra mutatja.



2. ábra: Az IPPE és SPPE detektorok sematikus ábrája

Mindkét konfigurációnál a detektor általában, egy mindkét oldalán fémmel bevont polivinilidinfluorid (PVDF) anyagból készült piroelektromos fólia, azonban lehet piroelektromos kerámia kristály ( $\text{LiTaO}_3$ ) is (*Rémiens, 2007*). Amennyiben a piroelektromos fólia hőmérséklete változik, a piroelektromos effektus következtében, a fólia polarizációs töltéssűrűsége is megváltozik. A piroelektromos fólia fűtését egy megszaggatott fénynyalábbal valósítjuk meg, így lesz fotopiroelektromos effektus. A 2. ábrán jól látható, hogy a megszaggatott lézer nyaláb az SPPE konfiguráció esetében egy

befeketített alumínium fólián még IPPE konfiguráció esetében magán a befeketített PVDF fólián abszorbeálódik (*Bicanic et al., 1995*). Az így létrejött periodikus hőmérsékletváltozást a következő három komponens segítségével lehet felírni:

$$T(x, y, z, t) = T_0 + T_{dc}(x, y, z) + T_{ac}(x, y, z, t) \quad [7]$$

ahol  $T_0$  a környezet hőmérséklete  $T_{dc}$  a hőmérséklet dc komponense, amely függ a modulációs frekvenciától és a szenzor geometriájától  $T_{ac}$  pedig a hőmérséklet ac komponense, az  $x, y, z$  és  $t$  a hőmérséklet hely és időfüggését jelentik.

*Marineli és munkatársai (1992)* alapján, ha a minta és a szenzor is termikusan vastag, továbbá a minta átlátszatlan (S1.1. eset az *1. ábra* szerint) a PVDF fóliában keletkezett feszültség változás a következő módon határozható meg:

$$V = \frac{H_0 p r e_p}{L_p C_p [1 + (\omega \tau_E)^2]^{1/2}} \cdot \frac{e^{-L_s \left(\frac{\omega}{2\kappa_s}\right)^{1/2}}}{e_s \left(\frac{e_m}{e_s} + 1\right) \left(\frac{e_p}{e_s} + 1\right)} e^{i\theta} \quad [8]$$

ahol

$$\theta = -\left(\frac{\omega}{2\kappa_s}\right)^{1/2} L_s \quad [9]$$

$p$  a piroelektromos koefficiens,  $H_0$  a mintára érkező hőenergia intenzitása,  $L_p$  a fólia vastagsága,  $r$  a detektor-lock-in áramkör impedanciája,  $e_p$  a fólia effuzivitása,  $e_s$  a minta effuzivitása  $e_m$  a minta

feletti közeg (levegő) effuzivitása,  $C_p$  a fólia hőkapacitása,  $\omega$  az alkalmazott modulációs körfrekvencia,  $\tau_E$  a lock-in időállandója,  $\kappa_s$  a minta hővezetési tényezője,  $\theta$  pedig a mért jel fázisa. Ennél a konfigurációnál, amennyiben a minta vastagsága és a méréskor használt modulációs frekvencia ismert, akkor a minta hővezetési tényezője direkt módon meghatározható a mért jel fázisából a [9] egyenlet alapján. Egy ismert és egy ismeretlen effuzivitású mintát mérve az adott berendezés minden más paramétere kiejthető, ha egy relatív összehasonlítást végzünk és így az ismeretlen effuzivitás kiszámítható.

Az S1.1.-es konfiguráció esetében nemcsak a minta amplitúdójából, hanem annak fázisából is meghatározható az  $e_s$  (*Dadarlat és Neamtu, 2006*).

A S1.2.-es konfigurációnál a PPE feszültség nagysága ( $V$ ) a következő módon alakul (*Mandelis et al., 1985*):

$$V = \frac{pH_0}{2K\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{\kappa_s \sigma_s \sinh(\sigma_s L_s)} \quad [10]$$

ahol  $K$  a detektor dielektromos állandója,  $\varepsilon_0$  a vákuum permittivitása,  $L_s$  a minta vastagsága,  $\sigma_s$  pedig a minta termikus diffúziós koefficiense. A [10]-es összefüggésben megtalálható hővezetési tényező ( $\kappa_s$ ) összefügg az effuzivitással, diffuzivitással valamint a fajlagos hőkapacitással a következőképpen:

$$C = p \cdot c = \frac{\kappa}{\alpha} \quad [11]$$

valamint:

$$e = (C \cdot \kappa)^{1/2} \quad [12]$$

A [11]-es képletbe:

$$\sigma_j = (1+i)a_j = \sqrt{2}a_i \exp\left(i\frac{\pi}{4}\right); j = (s, p) \quad [13]$$

ahol s és p szimbólumok a mintát és a fóliát jelölik.

Valamint  $a_j^{-1}$  a termikus diffúziós hossz a következő módon definiálható:

$$a_j^{-1} = \mu_j = \left(\frac{2\alpha_j}{\omega}\right)^{1/2} \quad [14]$$

Mivel a minta az S1.2.-es konfigurációnál termikusan vékony ( $L_s \ll \mu_p(\omega)$ ) ezért feltételezhető, hogy  $(\pm\sigma_s \cdot L_s) \approx 1 \pm \sigma_s \cdot L_s$  ezért a [13]-as összefüggést felhasználva az [10]-es összefüggés a következő módon írhatjuk át:

$$V = \frac{C_s p H_0}{2\sqrt{2}\varepsilon\omega\alpha_p L_s} \cdot e^{-i\frac{3\pi}{4}} \quad [15]$$

ahol  $\omega = 2\pi f$  a modulációs frekvencia.

Ebből az látható, hogy amennyiben a jel fázisa állandó (tehát a [10] alapján  $\omega$ ,  $\alpha_s$ ,  $L_s$  állandó), akkor a keletkezett PPE feszültség arányos a minta hőkapacitásával ( $C_s$ ).

Inverz konfigurációnál (I), ha a szenzor termikusan vékony és a minta termikusan vastag (I 1.1.) akkor a PPE jel a következő képpen alakul:

$$V = \frac{\tau_E p (1-R) H_0 \left[ \left( \frac{e_s}{\alpha_p L_p e_p} + 1 \right)^2 + 1 \right]^{1/2}}{\sqrt{2\epsilon C_p}} \cdot e^{i\phi} \quad [16]$$

ahol  $R$  és  $\phi$  a beérkező hőfluxusnak a szenzor elektródája által visszavert része, valamint

$$\phi = \frac{\pi}{4} - \operatorname{arctg} \frac{\alpha_p L_p}{\alpha_p L_p + \frac{e_s}{e_p}} \quad [17]$$

Amennyiben az  $\frac{e_s}{e_p} \gg \alpha_p L_p$  feltétel érvényes akkor a [16] a

következőképpen módosul:

$$V = \frac{e_p \alpha_p L_p V_0}{e_s} \cdot e^{i\frac{\pi}{4}} \quad [17]$$

ahol

$$V_0 = \frac{\tau_E p (1-R) H_0}{\sqrt{2\epsilon C_p}} \quad [18]$$

Az I 1.2.-es konfigurációnál a keletkező PPE jel nagyban hasonlít az I 1.1.-es konfigurációnál keletkezett jelhez. Az I 1.2.-es konfigurációnál a szenzor és a minta is termikusan vékony.

Az I 2.1.-es konfigurációnál a keletkezett PPE jel (*Dadarlat et al., 1995a*):

$$V = \frac{\tau_E p H_0 \omega^{1/2}}{8\epsilon \alpha_p L_p} \cdot \frac{e_p}{e_p + e_s} \cdot e^{-i\frac{\pi}{2}} \quad [19]$$



A [19]-ből látható, hogy a PPE jel amplitúdója csak a minta effuzivitásától függ abban az esetben, ha a fázis állandó. Ez a konfiguráció az  $e_s$  meghatározására a fázisból jobb reprodukálhatóságot eredményez, mint az amplitúdóból való meghatározás (Longuemart et al., 2002).

Az I 1.1.-es konfigurációnál ahol a minta termikusan vastag ( $L_s \gg \mu_s(\omega)$ ) feltételezhető, hogy  $(-\sigma_s L_s) \approx 0$ . Ebben az esetben a keletkezett PPE jel:

$$V = \frac{A(1-R)}{C_p} \left\{ 1 - \frac{\frac{e_s}{e_p}}{\frac{e_s}{e_p} + \sigma_p L_p} \right\} = \frac{A(1-R)\sigma_p L_p}{C_p \left( \frac{e_s}{e_p} + \sigma_p L_p \right)} \quad [20]$$

Ezt átalakítva:

$$V = \frac{A(1-R)}{C_p \sqrt{\left( \frac{e_s}{e_p \alpha_p L_p} + 2 \right)^2 + 1}} \exp \left( i \left[ \frac{\pi}{4} - \frac{1}{1 + \frac{e_s}{e_p \alpha_p L_p}} \right] \right) \quad [21]$$

ahol A a piroelektromos fólia felülete.

A [21] alapján tehát amennyiben a vizsgálatokat ugyanazzal a mérőrendszerrel végezzük (azaz  $e_p$ ,  $\alpha_p$ ,  $L_p$ , A és R állandó) akkor a mért PPE jel nagysága kizárólag a minta effuzivitás értékétől függ.

Ebből következik, hogy egy adott mérőrendszerrel, a vizsgált mintán mért jel ( $V_{\text{minta}}$ ) valamint, egy ismert paraméterű ún. referencia mintán

kapott jel ( $V_{\text{referencia}}$ ) hányadosa,  $V_{\text{minta}}/V_{\text{referencia}}$  csak a minták effuzivitás értékeitől függ, azaz:

$$V_{\text{minta}}/V_{\text{referencia}} = e_{\text{minta}}/e_{\text{referencia}} \quad [22]$$

Ebből az is következik, hogy egy ismeretlen effuzivitású minta meghatározásához az ismert referencia minta (általában desztillált víz) fotopiroelektromos jelének meghatározása szükséges.

*Delenclos és munkatársai (2002)* alapján, amennyiben az effuzivitás értéket inverz módon határozzuk meg és a számításokhoz a mért jel amplitúdóját használjuk, valamint ismert a lézer szaggatási frekvenciája, akkor a mérési hibahatár 10%-on belül van.

## 2.5. *Élelmiszerek effuzivitásának meghatározása*

### 2.5.1. *Élelmiszerek effuzivitásának meghatározása számításos módszerrel*

Az élelmiszerek effuzivitásának meghatározása lehetséges – mint azt korábban említettük – az effuzivitás definiálásához használt összefüggés alapján is.

Az e számításához a fajlagos hőkapacitást és a hővezető képességet kell mérni (lásd 2.3. fejezet). Ezek ismeretében már csak az élelmiszerek sűrűségét kell ismerni a számítás elvégzéséhez. Élelmiszerek sűrűségének meghatározására is számos módszer ismert. Hazánkban a biológiai anyagok esetében három eltérő sűrűséget

szokás definiálni, ugyanakkor pl. Angliában az ottani szabványok 14 féle sűrűséget különböztetnek meg (*Webb, 2001*). Szilárd anyagok sűrűségén az anyag egységnyi térfogatának átlagos tömegét értjük. Míg gázok és folyadékok sűrűsége a nyomástól és a hőmérséklettől függ, addig a szilárd anyagok sűrűségét a molekulák elrendeződése, környezete is befolyásolja. Ebből adódik, hogy ellentétben a folyadékokkal, a kémiailag azonos szilárd anyagok sűrűsége eltérhet egymástól. Ez utóbbi egyértelműen a szilárd anyag eltérő szerkezetére utal. Így ugyanazon szilárd anyag sűrűsége a részecsketérfogat mérésére alkalmazott módszertől függően eltérő lehet. A valódi sűrűség, amely az anyag tömegének és az elemi cella térfogatának aránya, csak az anyag szilárd, tömör részét veszi figyelembe. Kristályos anyagok esetében a valódi sűrűséget kristály sűrűségnek is szokás nevezni.

A második típusa a sűrűségnek a részecske sűrűség. A részecske sűrűség meghatározásánál a részecskén belüli pórusok térfogatát is figyelembe kell venni. Ebből következik, hogy értéke függ a mért térfogattól, amit azonban a térfogat meghatározásának módszere befolyásol. A részecske sűrűség meghatározásához leggyakrabban gázipnométeres sűrűség meghatározást alkalmaznak (*Fang és Campbell, 2000; Teonou és Fitzpatric, 2000*).

Harmadik sűrűség típus a tömörítetlen és tömörített anyagok sűrűségére vonatkozik. Ez az említett sűrűségeken túlmenően a porágy részecskéi között kialakult hézagok térfogatát is magában foglalja. Tehát a tömörített és a tömörítetlen sűrűség nemcsak a

részecskék sűrűségétől, hanem a részecskék porágyban való elhelyezkedésétől is függ (Mohsenin, 1980).

Folyadékok sűrűségét areométerrel (Tarko és Tuszyński, 2005), piknométerrel (Ayachit et al., 2007; Eickenbusch et al., 1995) vagy Mohr-Westphal mérleggel végzik. Újabban a sűrűség meghatározására ultraszónikus pulzuson alapuló mérési módszert is alkalmaznak (Kažys és Rekuviene, 2011).

Mérve tehát a fajlagos hőkapacitást, a hővezető képességet, valamint a sűrűséget az effuzivitás érték meghatározható a [3] összefüggés alapján.

#### 2.5.2. A mért élelmiszerminták effuzivitás érték számításához szükséges tulajdonságok

A [3] összefüggés alapján tehát az effuzivitás értéket három fizikai paraméter, a fajlagos hőkapacitás, a sűrűség és a hővezetési tényező határozza meg.

A következőkben az általunk vizsgált élelmiszerek beltartalmi értékeit, valamint fizikai jellemzőit, úgymint a sűrűség, fajlagos hőkapacitás és a hővezetési tényező, gyűjtöttük össze.

Az általunk alkalmazott ún. relatív módszer a desztillált víz effuzivitás értékének ismeretén alapszik. Az ide vonatkozó szakirodalom alapján a víz hővezetési tényezője  $0,6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , sűrűsége  $998 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , fajlagos hőkapacitása pedig  $4200 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  20 °C-os hőmérsékleten (Walstra et al., 2005). Ezen értékek a [3] összefüggés alapján

1586  $\text{W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}$  effuzivitás értéket adnak, míg a közvetlen mérések 1580  $\text{W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}$  mutatnak.

Az alábbiakban a vizsgált élelmiszerek összetevőit, azok mennyiségét és az effuzivitás számításához szükséges fizikai jellemzőit foglaljuk össze. A tej emulziós zsírfázisból, kolloidális fehérjefázisból és valódi oldatokból strukturálisan felépülő összetett diszperz rendszer, melynek diszperziós közege a víz. Az átlagos tehéntej beltartalmi értékei (g/100g) a következők (Szakály, 2001):

<b>Szárazanyag</b>	<b>12,5</b>
<i>Zsírmentes szárazanyag</i>	<b>8,8</b>
<i>Fehérje</i>	3,3
<i>Tejcukor</i>	4,6
<i>Ásványi anyagok</i>	0,8
<b>Zsír</b>	<b>3,8</b>
<b>Víz</b>	<b>87,5</b>

A zsírmentes száraz anyag tartalom (8,8 g/100g) számértéki eltérése a fehérje (3,3 g/100g), tejcukor (4,6 g/100g) valamint ásványi anyagok (0,8 g/100g) összegétől a második tizedes jegy miatti kerekítésből adódik.

Szakirodalom alapján 20 °C-on mérve a tej hővezetése 0,52  $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , átlagos sűrűsége 1029  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , és fajlagos hőkapacitása 3900  $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  (Walstra et al., 2005).

A 20%-os tejszín termikus tulajdonságai 20 °C-on szintén ismertek, a tejszín hővezetése 0,37  $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , sűrűsége 1009  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$  és fajlagos hőkapacitása 3500  $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  (Walstra et al., 2005).

*Fernández-Martin és Montes (1977)* szerint a tejszín hővezetési tényezője a hőmérséklet függvényében változik. Vizsgálataikban 19,74, 30,66 és 39,52 térfogat-százalékos zsírtartalmú tejszín hővezetési tényezőjét határozták meg 8 és 80 °C között. Megállapították, hogy a hőmérséklet növelésével a tejszín hővezetési tényezője is növekszik.

A házityúk tojássárgája 16,5% fehérjéből, 31,2% zsírból, 49,7% vízből, 1,7% ásványi anyagból és 1,9% egyéb alkotóból áll. A házityúk tojásfehérjének összetétele – eltérően a sárgájától – 87,6%-ban vizet, 10,6%-ban fehérjét, 0,7%-ban ásványi anyagot, 0,01%-ban zsírt és 1,1%-ban egyéb anyagot tartalmaz. A házityúk tojássárgája 48-50% szárazanyagot tartalmaz, amelynek 80%-a vízben, a fennmaradó 20% pedig zsírban oldódó plazma (*McBee és Cotterill, 1979*). A különböző fajok tojássárgájának összetételében azonban különbségek vannak, mert pl. a kacsatojás sárgájában a víz 43,51%, a fehérje 16,0%, a zsír 37,25% és a hamu 1,59%-ban van jelen (*Kaewmanee et al., 2009*) szemben a házityúk tojássárgájával.

A nyers tojás két fő részének, a tojásfehérjének és a tojássárgájának külön-külön, valamint az összekevert tojáslének a fajhője, sűrűsége és hővezetési tényezője egy adott hőmérsékleti tartományban ismert (*Coimbra et al., 2006*). Mivel a kapott eredményeket különböző hőmérsékleten határozták meg, ezért a tojás fehérje és sárgája effuzivitás értékének számításához az általuk mért sűrűség, fajlagos hőkapacitás és hővezetés 22 °C-on mért értékét vettük figyelembe (az általunk megvizsgált mintákat is – szobahőmérsékleten – 22 °C-on mértük). Ez alapján tojás sárgájánál a sűrűség  $1139 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , a fajlagos

hőkapacitás  $2,714 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  és a hővezetésnél pedig  $0,396 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  értékekkel számoltam.

Tojás fehérjének a sűrűség értékét  $1025 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , fajlagos hőkapacitását  $3,588 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  és hővezetését  $0,558 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ -nek vettem.

*Coimbra és munkatársai (2006)* által vizsgált mintáik közül két esetben (20% és 40%) a fehérje és sárgája aránya közel azonos volt az általunk vizsgált fehérje és sárgája keverékekhez, ezért e két mintára is meghatároztuk az effuzivitás értékeket számítással. A 20%-os minta sűrűségét  $1105 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ -nek, fajlagos hőkapacitását  $2,890 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ -nek és hővezetését  $0,428 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ -nek tekintettük. Továbbá a 40%-os tojássárgája tartalmú minta effuzivitás értékének kiszámításánál  $1090 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  sűrűség értékkel,  $3,058 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  fajlagos hőkapacitás értékkel és  $0,461 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  hővezetési értékkel számoltunk.

Tojásporok termikus tulajdonságaira nincsenek irodalmi adatok. A termékspecifikációban megtalálhatóak viszont a különböző tojásporok fizikai, kémiai jellemzői (2. táblázat).

2. táblázat: Tojássárgája-, tojásfehérje és teljes tojáspor főbb beltartalmi paraméterei. (Capriovus Kft. Specifikációja alapján)

Fizikai, kémiai tulajdonságok	Tojásfehérje por	Tojássárgája por	Teljes tojáspor
	%		
Fehérje	80	28	45
Zsír	0	50±5	33±5
Nedvességtartalom	8	5	5

### 3. A doktori értekezés célkitűzései

1. Megépíteni egy olyan fotopiroelektromos elven működő mérőrendszert, amely lehető teszi folyadék és kolloid minták hőeffuzivitásának közvetlen mérését.
2. Ismert irodalmi adatok alapján a mérőrendszer tesztelése.
3. Eddig ismeretlen effuzivitású élelmiszerek effuzivitás értékének közvetlen meghatározása, mint pl. tejtermékek, különböző tojások, bébiételek, méz, stb.
4. Annak vizsgálata, hogy tejszín, tejföl, ömlesztett sajt, majonéz és sertéshús zsír-víz tartalmának aránya, valamint méz és bor szénhidrát tartalma hogyan befolyásolják azok effuzivitás értékét.
5. Fehérje tartalom hatásának vizsgálata rehidratált tojásfehérje effuzivitás értékére.
6. A közvetlen méréssel kapott effuzivitás értékek összehasonlítása a közvetett (számításos) módszerrel kapott eredményekkel.



## 4. Anyag és módszer

### 4.1. A vizsgálati minták

A vizsgált minták jelentős hányada kereskedelmi forgalomban kapható élelmiszer volt. A vizsgálatok elvégzéséhez sem mikrobiológiai előkészítés, sem extrakciós eljárás, vagy egyéb kémiai előkészítés nem szükséges.

Egy mérés alkalmával pépek és egyéb nem folyékony minták esetében 0,5 g mintát, míg folyékony minták esetében 0,5 cm<sup>3</sup> mintát helyeztünk a piroelektromos fóliára. A mérések után a piroelektromos fóliáról a mintát eltávolítottuk, majd a fóliát etanollal és desztillált vízzel tisztítottuk.

A vizsgált élelmiszerek a következő csoportokba sorolhatók.

#### *Tej és tejtermékek:*

Tej és tejtermékek effuzivitás értékének a zsírtartalomtól való függését kívántuk meghatározni.

Az alábbi mintákon végeztünk méréseket: különböző zsírtartalmú tejek (1,6-2,4%-os zsír-, 3,2% fehérje-, 4,2% szénhidráttartalom), tejszínek, tejfölök, valamint kefir (3,2% zsír-, 3,2% fehérje-, 3,7% szénhidráttartalom), kaukázusi kefir (3,0% zsír-, 3,35% fehérje-, 4,6% szénhidráttartalom) és natúr joghurt (3,0% zsír-, 3,0% fehérje-, 4,4% szénhidráttartalom).

Tejszín esetében az alábbi 11 különböző zsírtartalmú mintát vizsgáltuk: Tsz<sub>1</sub> 10%; Tsz<sub>2</sub> 12,28%; Tsz<sub>3</sub> 13,87%; Tsz<sub>4</sub> 16,2%;

Tsz<sub>5</sub> 18,13%; Tsz<sub>6a</sub> 20%; Tsz<sub>6b</sub> 20%; Tsz<sub>7</sub> 21,98%; Tsz<sub>8</sub> 24,2%; Tsz<sub>9</sub> 26,61%; Tsz<sub>10</sub> 27,98%; Tsz<sub>11</sub> 30%-os zsírtartalmú minta. A Tsz<sub>1</sub> (10,0%-os zsír-, 3,0% fehérje-, 4,2% szénhidrátartalom), Tsz<sub>6a</sub> (20,0%-os zsír-, 2,5% fehérje-, 2,8% szénhidrátartalom) és Tsz<sub>11</sub> (30,0%-os zsír-, 2,2% fehérje-, 3,3% szénhidrátartalom) mintákat kereskedelmi forgalomban vásároltuk. A többi mintát a Tsz<sub>1</sub> és Tsz<sub>11</sub>-es minták különböző arányú keverésével hoztuk létre. A minták egységesítése mechanikus módon, kézzel történő keveréssel történt.

Tejföl mintákból nyolc különböző zsírtartalmú mintát vizsgáltunk (Tf<sub>1</sub> 12%; Tf<sub>2</sub> 15,2%; Tf<sub>3</sub> 18%; Tf<sub>4</sub> 20%; Tf<sub>5</sub> 22,22%; Tf<sub>6</sub> 26%; Tf<sub>5</sub> 28% és Tf<sub>6</sub> 31,4%-os zsírtartalmú minta). A Tf<sub>1</sub> mintát (12,0%-os zsír-, 2,7% fehérje-, 3,0% szénhidrátartalom) kereskedelmi forgalomban vásároltuk. A Tf<sub>6</sub>-os mintát (31,4%-os zsírtartalom) a Magyar Tejgazdasági Kísérleti Intézet állította elő számunkra. A többi mintát a Tf<sub>1</sub> valamint a Tf<sub>6</sub> minták megfelelő arányú keverésével készítettük. A minták keverése ismét mechanikus úton történt.

Ömlesztett sajtok tanulmányozásához kereskedelmi forgalomban kapható három eltérő zsírtartalmú (C<sub>1</sub> 7%; C<sub>2</sub> 15%; C<sub>3</sub> 23%) terméket vásároltuk. A C<sub>1</sub> és a C<sub>3</sub> minták megfelelő arányú keverésével további három mintát készítettünk: C<sub>4</sub> 9,59%, C<sub>5</sub> 11,79% és C<sub>6</sub> 19,58%-os zsírtartalommal.

#### *Majonéz:*

Majonéz mintáknál kereskedelmi forgalomban két különböző beltartalom értékű mintát találtunk (M<sub>1</sub> 27%-os zsír-, 0,7% fehérje-, 7,0% szénhidrátartalom; M<sub>6</sub> 80%-os zsír-, 1% fehérje-, 3,0%

szénhidráttartalom). Ezek megfelelő arányú keverésével eltérő zsírtartalmú mintasorozatot készítettünk ( $M_2$  35%;  $M_3$  40%;  $M_4$  53%;  $M_5$  65%-os zsírtartalom). A minták egységesítése ismét kézi keveréssel történt.

#### *Bor:*

Borok minősítésének egyik tényezője a borok testessége, amit alapvetően a borok glicerintartalma határoz meg. Ezért a hamisítás egyik célja a borok testességének növelése glicerin hozzáadásával.

A magyar borok glicerintartalma 6-10 g/l között van 100 g alkoholra számítva (ez alól kivétel a Tokaji szamorodni borok 10-14 g/l valamint az aszúborok 7-24 g/l glicerin tartalommal). Az e fölötti értékek rendszerint valamilyen manipulációra utalnak.

Száraz, fehér borhoz (Szőke pincészet: Duna melléki olasz rizling, L:925132 10,5% alkohol tartalom, 2011) glicerint (99,8%-os vízmentes, Merck (Germany)) adagoltunk különböző mértékben és így a következő mintasorozatot kaptuk:  $Br_1$  0%;  $Br_2$  4,1%;  $Br_3$  5,4%;  $Br_4$  7,9%; és  $Br_5$  14,5%-os hozzáadott glicerin tartalom.

#### *Méz:*

Méz mintáknál a mézhez adagolt izocukor befolyását vizsgáltuk az effuzivitás értékére.

Az izocukor az élelmiszeriparban édesítőként ismert glükóz-fruktóz tömény vizes oldata (glükóz 52, fruktóz 42, oligoszacharid 6 g/100g).

Az izocukrot kukoricából állítják elő.

A méz – definíció szerint – a nyugati mézelő méhek (*Apis mellifera*) által növényi nektárból, vagy élő növényi részek nedvéből, illetve az élő növényi részek kiválasztott anyagából gyűjtött természetes édes anyag, amelyet a méhek begyűjtenek, saját anyagaik hozzáadásával átalakítanak, raktároznak, dehidrálnak, és lépekben érlelnek (*Magyar Élelmiszer Könyv, 2001*). A méz és az izocukor összetétele nagyban megegyezik, azonban a méz a glükóz-fruktózon (glükóz átlagosan 30,3%, fruktóz átlagosan 38,4%) kívül tartalmaz még jelentős mennyiségben természetes antioxidánsokat, enzimeket, ásványi anyagokat (kalcium, réz, vas, magnézium, mangán, foszfor, kálium, nátrium, cink) és igen kis mennyiségben vitaminokat (B<sub>1</sub>; B<sub>2</sub>; B<sub>3</sub>; B<sub>4</sub>; B<sub>5</sub>; B<sub>6</sub>; C) is (*White et al., 1962*). A kísérletekhez repce mézet használtunk.

Méz minták esetében a méz, illetve a hozzáadott izocukor tartalmat kívántuk kimutatni. Így a mézből különböző izocukor tartalmú mintasorozatot állítottunk elő: Mz<sub>1</sub> 0%; Mz<sub>2</sub> 31,2%; Mz<sub>3</sub> 46,8%; Mz<sub>4</sub> 72,7%; Mz<sub>5</sub> 100% izocukor tartalom. A 0%-os minta a repcemézet jelenti, hozzáadott izocukor nélkül, míg a 100%-os minta az izocukor.

#### *Tojás és tojásporok:*

Mintáink következő nagy csoportját különböző madarak tojásai, valamint a tyúktojásból készített tojásporok adták. Hat különböző faj (tyúk, gyöngytyúk, lúd, japán fürj, fácán, kacska) tojássárgáját, tojásfehérjét valamint ezek összekeverésével kapott úgynevezett tojáslevet vizsgáltunk meg. Emellett tyúktojás mintáknál a

tojássárgája és tojásfehérje különböző arányú összekeverésével mintasorozatot készítettünk ( $S_1$  0%;  $S_2$  22%;  $S_3$  28%;  $S_4$  47%;  $S_5$  72%;  $S_6$  100% tojás sárgája tartalom). A mintasorozatnál az  $S_1$  minta a tojásfehérjét az  $S_5$  minta pedig a tojássárgáját mutatja.

A tojáspor mintákat (tojásfehérje por, tojássárgája por, valamint teljes tojáspor) a Capriovus Kft-től szereztük be. A tojásporok beltartalmi értékei a 2. táblázatban láthatók. A porokból csapvíz (hőmérséklet 20 °C) hozzáadásával rehidratált mintasorozatokat készítettünk. A rehidratáláshoz alkalmazott víz mennyiségét a következő táblázat tartalmazza (3. táblázat):

Az 3. táblázatban B a teljes tojásporból, W a tojásfehérje porból, Y a tojássárgája porból készített rehidratált minták por víz mennyiségét mutatja.

3. táblázat: A különböző vízmennyiséggel készített rehidratált tojáspor minták, ahol B, W, és Y a teljes tojáspor, a tojásfehérje-, valamint a tojássárgája porokból készült mintákat jelölik.

Tojáspor minták	Tojáspor tömege	Hozzáadott	Víztartalom
		víz	(%)
B <sub>1</sub>	2.3	11.5	83.6
B <sub>2</sub>	9.8	13.1	57.3
B <sub>3</sub>	6.1	10.0	62.2
B <sub>4</sub>	2.0	20.0	90.8
B <sub>5</sub>	3.5	8.1	70.1
W <sub>1</sub>	2.1	16.0	88.5
W <sub>2</sub>	3.4	10.3	75.0
W <sub>3</sub>	4.5	10.8	70.6
W <sub>4</sub>	5.8	9.7	62.7
W <sub>5</sub>	7.8	11.0	58.6
W <sub>6</sub>	2.4	9.9	80.9
Y <sub>1</sub>	3.0	3.3	52.0
Y <sub>2</sub>	3.1	4.1	57.1
Y <sub>3</sub>	3.0	5.2	63.3
Y <sub>4</sub>	3.2	6.5	67.0
Y <sub>5</sub>	3.2	8.6	73.1
Y <sub>6</sub>	3.1	19.4	86.3

*Sertés hús:*

Célunk volt, hogy különböző mértékben zsírt tartalmazó sertéshús effuzivitását meghatározzuk. Ehhez sertéskaraj tűnt a legkézenfekvőbbnek, mert ez viszonylag zsírmentes „színhúst” jelent. A sertéskarajhoz különböző mennyiségű sertészsírt adagoltunk és ultra-turrax homogenizálóval homogenizáltuk. Így 11 mintát kaptunk, amelyek hozzáadott zsírtartalma: 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 és 100 g/100 g volt.

Az elkészült minták zsírtartalmát butirométeres módszerrel határoztuk meg. Eredményül az alábbi értékeket kaptuk: Z<sub>s1</sub> (színhús) 4,5 g/100 g; Z<sub>s2</sub> 14 g/100 g; Z<sub>s3</sub> 31 g/100 g; Z<sub>s4</sub> 42 g/100 g;

Zs<sub>5</sub> 51 g/100 g; Zs<sub>6</sub> 75 g/100 g; Zs<sub>7</sub> 90 g/100 g; Zs<sub>8</sub> 93 g/100 g;  
Zs<sub>9</sub> (sertészsír) 100 g/100 g zsír a mintában.

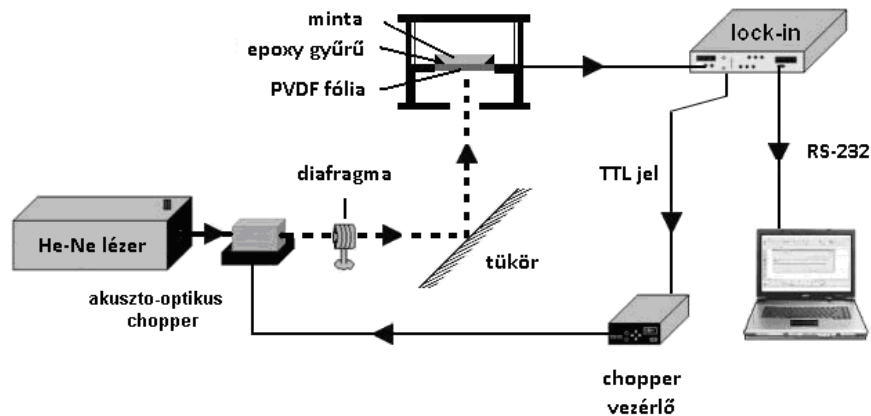
*Egyéb minták:*

Ezen minták a következők voltak:

Mustár (4,6%-os zsír-, 5,4% fehérje-, 7,5% szénhidráttartalom),  
ketchup (<0,1%-os zsír-, 0,3% fehérje-, 16,7% szénhidráttartalom),  
vegyes virágméz, olíva olaj (91%-os zsír-, 0% fehérje-, 0%  
szénhidráttartalom), napraforgó olaj (92%-os zsír-, 0% fehérje-, 0%  
szénhidráttartalom), őszibarackos almás banános bébiétel (0,1%-os  
zsír-, 0,5% fehérje-, 13,5% szénhidrát-, 1,3% élelmiszer rost  
tartalom), sárgarépa bébiétel (2,3%-os zsír-, 0,6% fehérje-, 8,5%  
szénhidrát-, 3% élelmiszer rost tartalom), süttőkös almás sárgarépás  
bébiétel (0,2%-os zsír-, 0,7% fehérje-, 15,7% szénhidrát-, 1,9%  
élelmiszer rost tartalom).

*4.2. A mérőrendszer felépítése*

Egyik fő célkitűzésünk, egy fotopiroelektromos elven működő  
mérőrendszer megépítése volt, amely alkalmas folyadékok és kolloid  
rendszerek hőeffuzivitásának közvetlen mérésére. A megépített  
rendszert a 3. ábra mutatja.



3. ábra: Az általunk megépített inverz fotopiroelektromos mérőrendszer sematikus ábrája

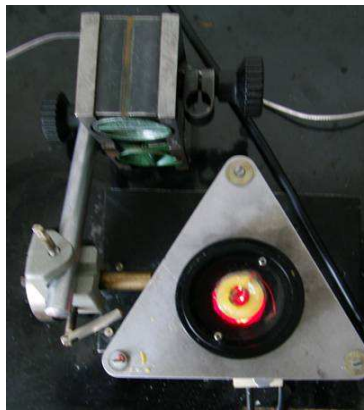
Fényforrásként egy Melles Griot 05-LHP-141 Helium-Neon lézert (Model: 05-LHP-141; Melles Griot, Albuquerque, NM,) (633 nm) alkalmaztunk. A lézernyaláb átmérője 1,5 mm, divergenciája 2,0 mrad, polarizációja 1000:1 és teljesítménye 3,6 mW. A lézernyalábot egy akusztó-optikus modulátor (Model: 1205-603D; Isomet Corp., Springfield, VA) segítségével moduláltuk, amit a fázisérzékeny erősítő TTL jele vezérelt. Az akusztó-optikus modulátorban egy kristály található, amelynek törésmutatója sűrűségfüggő. Ultrahang segítségével sűrűség hullámok állíthatók elő, amelyek által a kristály törésmutatója megváltozik. A megváltoztatott törésmutatójú kristály a rajta áthaladó lézernyalábot elhajlítja. Egy diafragma segítségével megakadályozható, hogy az elhajlított lézernyaláb a piroelektromos fóliára essen. Ha a kristályra váltakozó elektromos jelet (pl. TTL) kapcsolunk, akkor így a jel frekvenciájával azonos frekvenciájú modulált nyalábot kapunk. A modulált nyalábot



egy síktükör vetítette a PPE fólia (polyvinylidén-difluorid, PVDF) befekettített alsó felületére.

A PVDF fólia alsó felének befekettítésével a lézernyaláb abszorpciója maximalizálható (és a mért jel is) és függetlenné tehető az alkalmazott fény hullámhosszától.

A fólián egy epoxi gyantából készült gyűrű biztosítja, hogy a folyékony minták ne tudjanak szétfolyni és így a minta „mozgása” ne zavarja a méréseket (4. ábra). A fóliára helyezett minta által adott jel a fázis érzékeny erősítőre került, amely soros porton keresztül kapcsolódott az adatfeldolgozást végző számítógéphez.



4. ábra: Az IPPE mérőrendszer detektora felülről

#### 4.3. Az IPPE jel értékelése

A mérések során egy mérés alkalmával számítógép 128-szor olvasta ki a lock-in által erősített jelet és ezen értékek átlagát tekintettük a

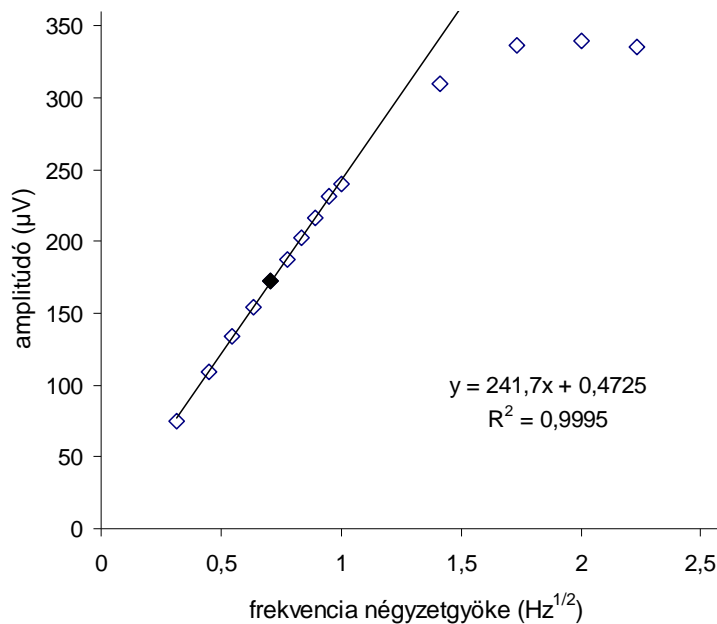
mért IPPE jel amplitúdójának. A [22] összefüggés alapján az IPPE jel amplitúdójából kiszámítottuk a minta effuzivitás értékét. Minden minta esetében három független mérést végeztünk. Ebből adódóan az egyes élelmiszerek effuzivitás értékét a lock-in erősítő 384-szer történő kiolvasásának átlagából számítottuk.

A minták effuzivitás értékének eltéréséhez szignifikancia vizsgálatot végeztünk F- és t- teszttel. Minden esetben a szignifikancia vizsgálatot  $p=5$  %-os szinten végeztük el. A számításokhoz Microsoft Excel 2003-as programot használtunk.

## 5. Eredmények és értékelésük

### 5.1. Minták effuzivitásának meghatározása direkt úton (IPPE mérőrendszerrel)

A relatív módszerből adódóan a mérések első lépése a referencia minta IPPE jelének mérése. Referencia mintaként desztillált vizet használtunk. A desztillált víz effuzivitására az irodalom alapján  $1580 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$  (Bicanic et al., 1992; Marín, 2007a) értéket használtunk. A desztillált víz IPPE jelének mérése két szempontból is fontos. Az egyik, hogy ezzel is igazolni tudjuk a mérési eredményeink reprodukálhatóságát (rendszer működését), a másik szempont pedig, hogy a mért jel szükséges a relatív módszer alkalmazásához. Méréseinket egy adott frekvencián végeztük, viszont a megfelelő frekvencia kiválasztása is meghatározó a kapott eredmények szempontjából.

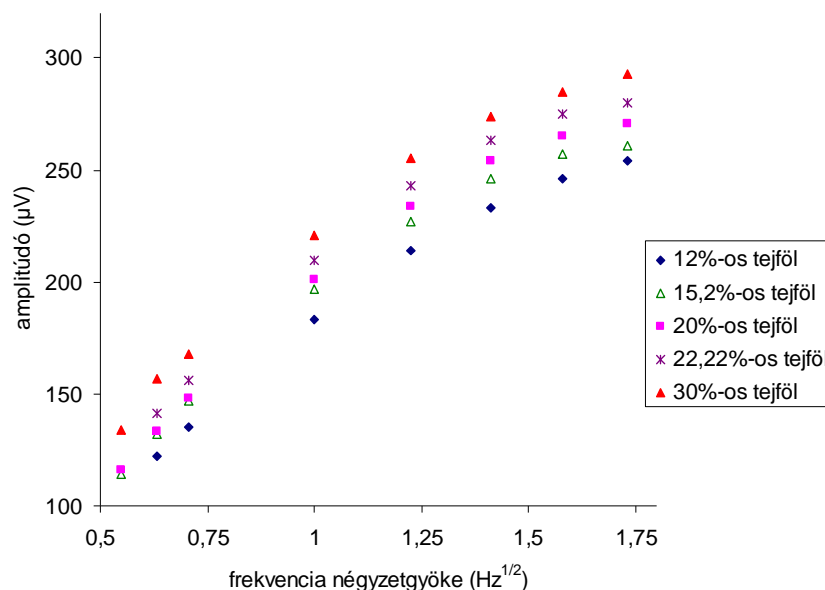


5. ábra: Desztillált víz IPPE jele a frekvencia négyzetgyökének függvényében

Az 5. ábrán jól látható, hogy a desztillált víz esetében az IPPE jel az 1 Hz-nél nagyobb frekvenciatartományban egy telítési szakaszba lép át. 0,1 és 1 Hz között azonban az IPPE jel lineáris. A mérések elvégzésére a 0,5 Hz-et választottuk, mert a jeltelítődés elkerülése mellett a jel/zaj viszony is optimális (5. ábra fekete négyzet).

A következő ábrát annak illusztrálására mutatjuk be, hogy az eltérő frekvenciákon végrehajtott mérésekre a relatív módszer nem alkalmazható, mert a mért jel a minták összetételén túl a frekvenciának is függvénye (6. ábra). Ez tehát azt jelenti, hogy a

referencia anyagon (desztillált víz) mért jelet ugyanazon a frekvencián kell mérni, mint az adott mintát.



6. ábra: Különböző zsírtartalmú tejföl minták amplitúdó értéke a frekvencia négyzetgyökének függésében

Az ábra jól mutatja, hogy növekvő zsírtartalom mellett a frekvencia növekedése is növeli a mért IPPE jelet. Az optimális frekvencia és a referencia minta IPPE jelének ismeretében a relatív módszer könnyűszerrel alkalmazható.

Eredményeinket öt csoportban foglaltuk össze:

- ❖ Ismert effuzivitás értékű élelmiszerek mérése és a kapott eredmények összehasonlítása az ismert adatokkal, valamint eddig ismeretlen effuzivitás értékű élelmiszerek effuzivitás értékének meghatározása.

- ❖ Élelmiszerek effuzivitás értékének meghatározása a zsírtartalom függvényében.
- ❖ Bor és méz minták effuzivitásának meghatározása glicerin és izocukor hozzáadása mellett.
- ❖ Különböző madártojások effuzivitás értékeinek meghatározása, valamint rehidratált tyúktojásporok effuzivitás értékeinek vizsgálata a hozzáadott víz mennyiségének függvényében és a kapott eredmények összevetése a nyers tyúktojás alkotóinak effuzivitás értékével.
- ❖ Közvetlenül az IPPE módszerrel kapott effuzivitás értékek összehasonlítása a számított effuzivitás értékekkel.

*5.2. A mért és ismert effuzivitás értékű élelmiszerek effuzivitás értékének összehasonlítása.*

A megépített IPPE mérőrendszerrel, a relatív mérési módszert alkalmazva, ismert effuzivitás értékű minták (tejföl, ketchup, mustár, majonéz, vegyes virágméz, olíva olaj, napraforgó olaj) effuzivitás értékét határoztuk meg és hasonlítottuk össze az irodalomban található értékekkel (4. táblázat). A táblázatban a  $\pm$  értékek a háromszori ismétléssel kapott effuzivitás értékek szórását mutatják.

4. táblázat: A megépített IPPE rendszerrel mért effuzivitás értékek összehasonlítása az irodalmi adatokkal.

Minták	Mért effuzivitás	Irodalmi effuzivitás
	$W \cdot s^{1/2} \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	
Tejföl	1521±11	1462 (Dadarlat et al., 1996)
Tejföl	1623±10	
Ketchup	1405±37	1457 (Dadarlat et al., 1996)
Mustár	1376±35	1527 (Dadarlat et al., 1996)
Majonéz	1502±13	869 (Bicanic et al., 1992)
Majonéz	739±3	
Vegyes virágméz	1351±5	1088-1380 (Dadarlat et al., 1998)
Olíva olaj	539±7	621 (Dadarlat et al., 1996)
Napraforgó olaj	525±2	667 (Dadarlat et al., 1996)

Kapott eredményeink azt mutatják, hogy lényeges eltérések nincsenek a mért és az irodalmi adatok között. Majonéz és tejföl esetében az eltéréseket – nagy valószínűséggel – zsírtartalomban meglévő eltérések okozzák. Ketchup, mustár és étkezési olajok esetén az eltérések elfogadhatók, tudva azt, hogy nagyon sokféle termék van kereskedelmi forgalomban, amelyek összetétele és azok aránya biztosan eltér, ami a különbséget okozza. A vegyes virágmézre kapott

eredményünk beleesik az irodalomban fellelhető effuzivitás értékek tartományába.

A már ismert effuzivitású élelmiszerek mellett, eddig ismeretlen effuzivitású élelmiszereket is megvizsgáltunk. Az 5. táblázatban az ezek effuzivitás értékei találhatók.

5. táblázat: Ismeretlen effuzivitás értékű élelmiszerek effuzivitás értéke.

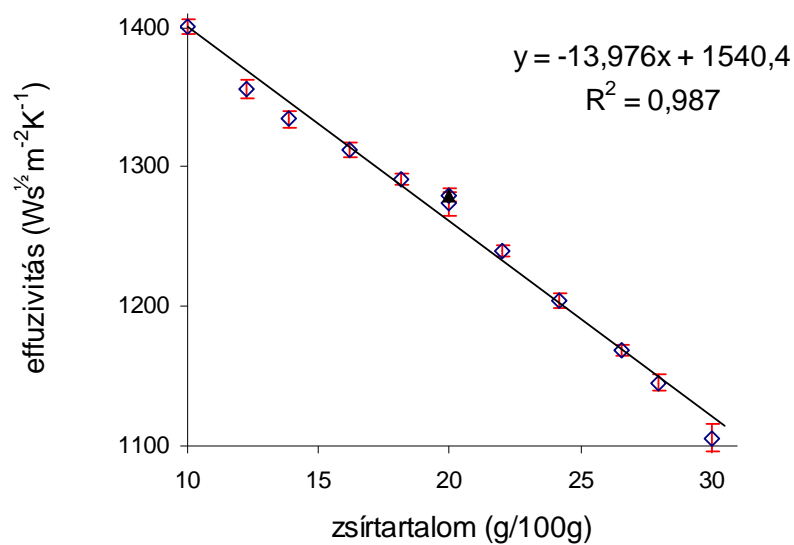
Minta	Mért effuzivitás	Konfidencia intervallum
	$W \cdot s^{1/2} \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	$\pm$
Kefir	1481	4,52
Kaukázusi kefir	1519	7,92
Natúr joghurt	1481	9,05
Tej (2.8% zsírtartalom)	1424	15,84
Bor	1544	18,11
Bébi étel (őszibarack, alma, banán)	1700	18,11
Bébiétel (sárgarépa)	1802	35,07
Bébiétel (sütőtök almával és sárgarépával)	1907	18,10

A táblázatban (5. táblázat) a konfidencia intervallum értékeit  $p=5\%$ -os szinten számítottuk.



### 5.3. Élelmiszerek effuzivitásának meghatározása különböző zsírtartalom mellett

Méréseink következő lépéseként különböző zsírtartalmú tejszínek, tejfölök effuzivitás értékeit határoztuk meg. Tejszínnek esetében a kapott eredmények a 7. ábrán láthatók.

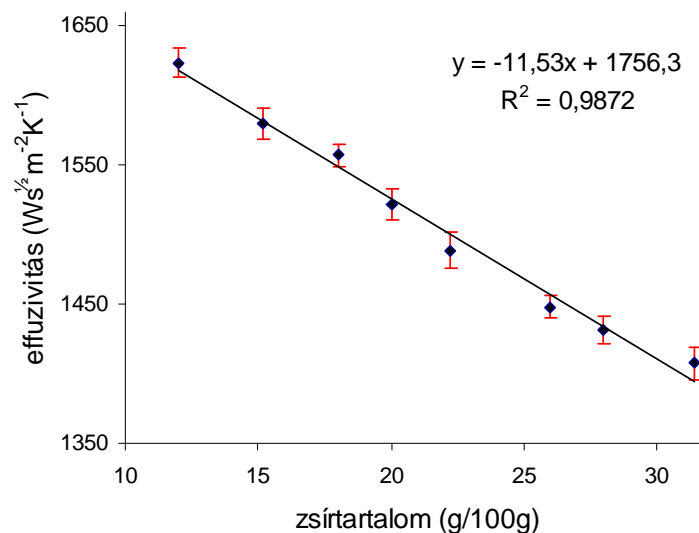


7. ábra: Tejszín effuzivitás értékei a zsírtartalom függvényében. A ▲ a kereskedelmi forgalomban kapható ( $T_{sz6a}$ ) 20%-os zsírtartalmú tejszín jelöli

A 7. ábrán jól látható, hogy a tejszín effuzivitás értéke a zsírtartalom növelésével lineárisan csökken ( $R^2=0,987$ ). Az effuzivitás értékek

1100  $\text{W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$  és 1400  $\text{W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$  közé esnek. Vizsgálataink kiterjedtek arra is, hogy a kereskedelmi forgalomban megtalálható (Tsz<sub>6a</sub>) 20%-os zsírtartalmú tejszín effuzivitás értékét összehasonlítottuk az általunk keveréssel készített (Tsz<sub>6b</sub>) 20%-os zsírtartalmú mintával. Méréseink eredményeként azt kaptuk, hogy a két minta effuzivitás értéke a mérési hibahatáron belül van. A 7. ábrán és a későbbi ábrákon (8-15. ábra) látható intervallumok a számított effuzivitás értékek szórását mutatják.

Tejfölök esetében is megvizsgáltuk a minták effuzivitás értékeinek a zsírtartalomtól való függését (8. ábra).



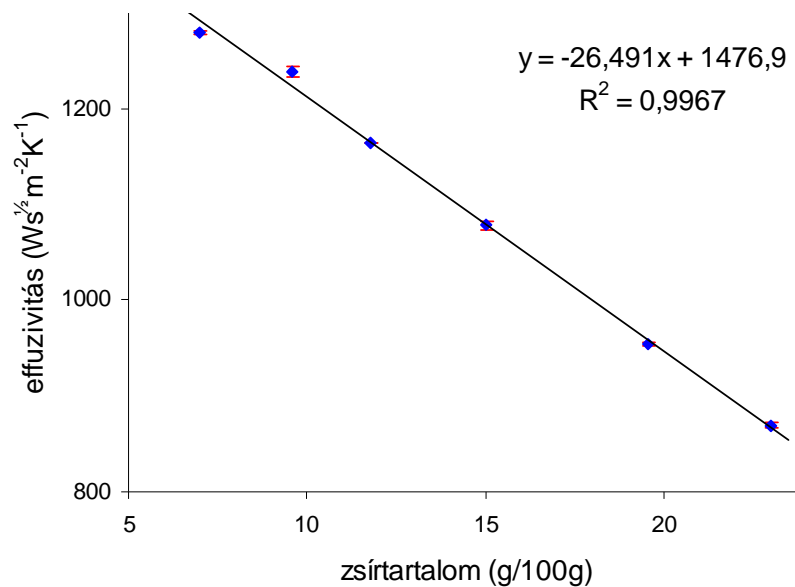
8. ábra: Tejföl minták effuzivitás értékei a zsírtartalom függvényében

A 8. ábra – a tejszínhez hasonlóan – a zsírtartalom növekedés függvényében az effuzivitás értékek csökkenését mutatja. Tejfölökre is igaz, hogy az effuzivitás értékek csökkenése lineáris ( $R^2=0,9872$ ) a

zsírtartalom növekedésével. A legkisebb zsírtartalmú mintára (12%)  $1623 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$  még a legnagyobb zsírtartalmú mintára (31,4%)  $1407 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ -t kaptunk.

A tejföl és a tejszín azonos zsírtartalom melletti effuzivitás értékeinek különbségét a minták eltérő fehérje tartalma vagy eltérő szerkezete okozhatja.

Különböző zsírtartalmú ömlesztett sajtok effuzivitás értékeit vizsgálva a relatív módszerrel, a kapott eredményeket a 9. ábra mutatja.

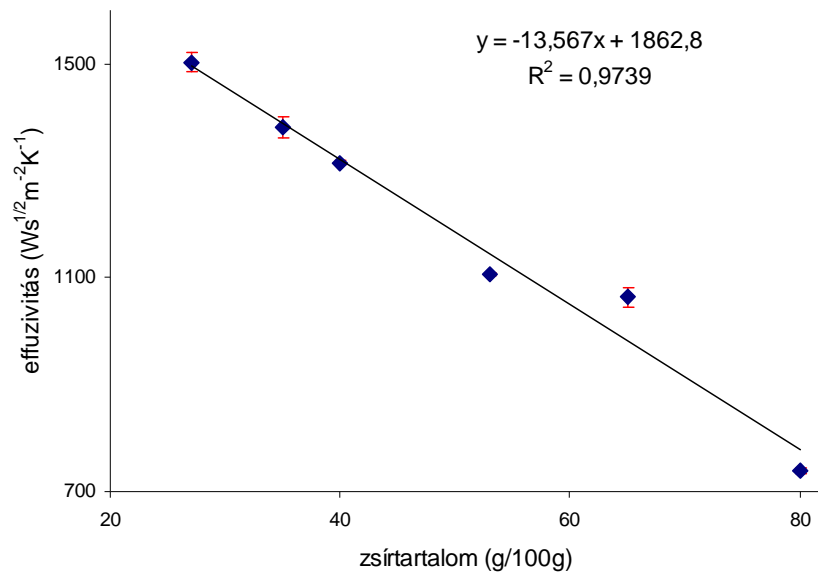


9. ábra: Ömlesztett sajt effuzivitás értékei a zsírtartalom függvényében

Az ábra alapján megállapíthatjuk, hogy a minta zsírtartalmának növekedésével az effuzivitás értéke lineárisan csökken ( $R^2=0,9967$ ).

A tejtermékeken bemutatott méréseink és a kapott eredmények alapján nagy valószínűséggel kijelenthetjük, hogy a zsírtartalom növekedése általában a tejtermékek effuzivitásának csökkenéséhez vezet.

Eltérő zsírtartalmú majonézek esetében is meghatároztuk az effuzivitás értékét a zsírtartalmának függvényében (10. ábra).



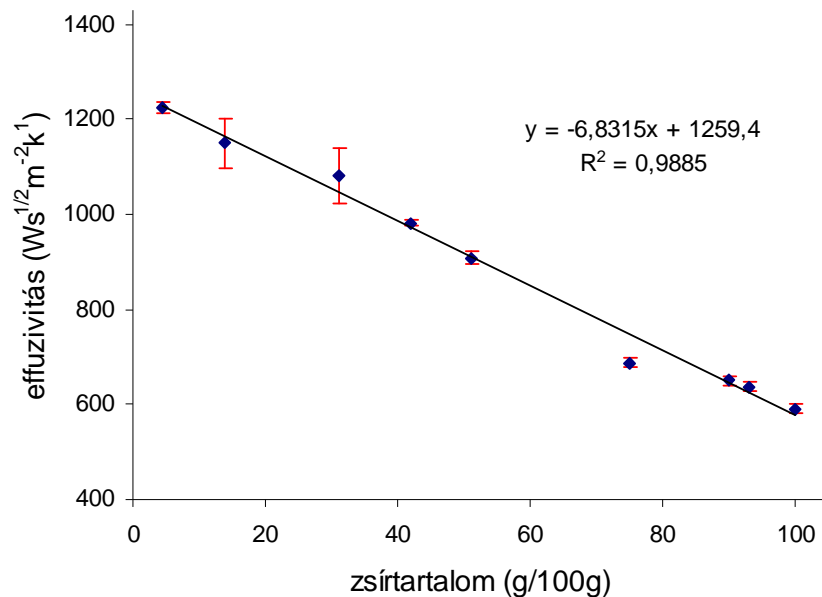
10. ábra: Majonéz effuzivitásának csökkenése zsírtartalom függvényében

Itt is lineáris csökkenés figyelhető meg a zsírtartalom növekedésével még elfogadható illeszkedéssel ( $R^2=0,9739$ ).

Sertéshús vizsgálata kicsit több minta előkészítést igényelt, mint az eddigi mintáink, mert ez esetben nem feltétlenül valósul meg közvetlenül a minta és a fólia között a jó termikus kapcsolat, ami

feltétele a módszer alkalmazhatóságának. Ezért a sertéskaraj mintákat a mérések megkezdése előtt pépesítettük. Erre azért is szükség volt, mert csak így lehetett a hozzáadott zsiradékot homogén módon elkeverni a karaj mintában.

A 11. ábrán a hús minták effuzivitás értékei láthatók.



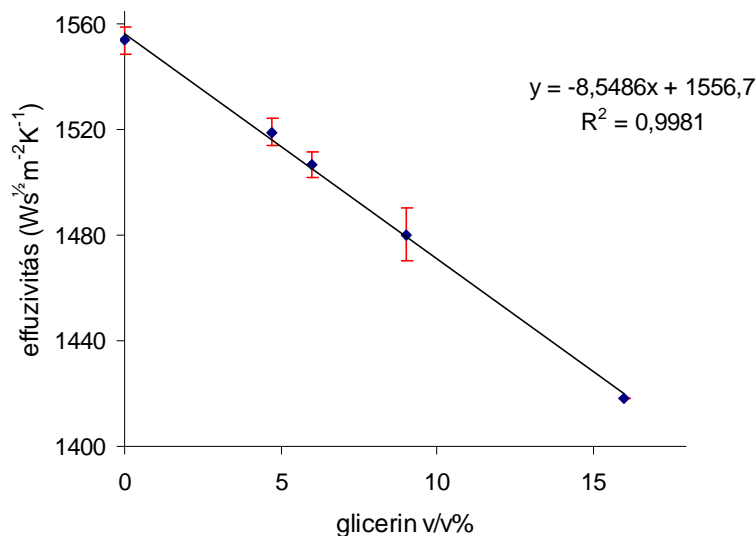
11. ábra: Sertéskaraj effuzivitás értékei a zsírtartalom függvényében

A zsírtartalom növelésével a minták effuzivitás értéke sertés karaj esetében is lineárisan csökken ( $R^2=0,9885$ ). Az effuzivitás érték csökkenésének mértéke  $6,83 \text{ W} \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$  egységnyi (1%) zsírtartalom növekedés hatására.

Méréseink alapján (tejszín, tejföl, ömlesztett sajt, majonéz, hús) tehát ki lehet jelteni, hogy az adott élelmiszerek zsírtartalma és az effuzivitás értékeik között szoros kapcsolat figyelhető meg. Mind az öt esetben a minták zsírtartalmának növelésével lineárisan csökkent a minták effuzivitás értéke.

#### *5.4. Bor és méz minták effuzivitásának meghatározása egyéb alkotó, adalékanyag hozzáadása mellett*

Bor és méz minták effuzivitás értékének meghatározásával az volt a célunk, hogy kimutassuk a szénhidráttartalom hatását az effuzivitás értékére. Bor mintáknál az effuzivitás értékét a mintákhoz adagolt glicerin függvényében vizsgáltuk. A rosszabb minőségű borok testesebbé tételének – ugyan nem megengedett – módja, hogy glicerint adagolnak a borhoz, valamint az üres, savanya borokat is nagymértékben feljavítja. A borászatban, illetve a magyar borászati törvény alapján, az adalékként hozzáadott glicerin tilos, ezért is fontos a glicerin tartalom kimutatása. A bor- és a glicerin hozzáadásával készített minták effuzivitás értékeit a *12. ábra* mutatja.

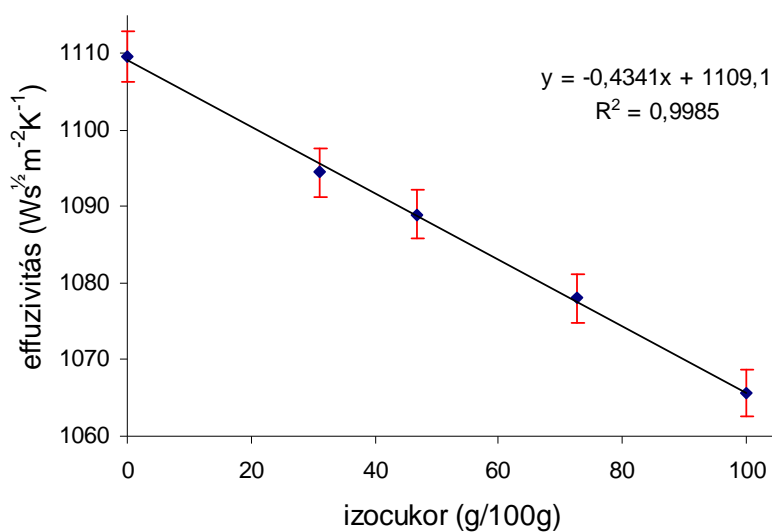


12. ábra: Bor minták effuzivitás értékének függvénye a minták glicerín tartalmának függvényében

A 12. ábra azt mutatja, hogy a borhoz adagolt glicerín mennyisége lineárisan és nagymértékben csökkenti az adott bor effuzivitás értékét ( $R^2=0,9981$ ). A hozzáadott glicerintől mentes bor minta effuzivitás értéke a desztillált vízhez viszonylag közel  $1553 \pm 5 \text{ W} \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$  értéket mutatott, míg a 14%-os glicerín tartalmú minta  $1421 \pm 4 \text{ W} \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$  értéket. A csökkenés mértéke  $9,47 \text{ W} \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$  1%-os glicerín tartalom növekedésnél.

Méz esetében azt vizsgáltuk, hogy a mézhez adagolt izocukor mennyisége hogyan változtatja meg az effuzivitás értékét. A kísérletekhez repce mézet használtunk. A 13. ábra alapján azt mondhatjuk, hogy a hozzáadott izocukor mennyisége lineárisan csökkenti a repceméz effuzivitás értékét ( $R^2=0,9985$ ). A grafikonon a

0 g/100 g koncentráció a repcemézet, a 100 g/100 g pedig az izocukrot jelenti.



13. ábra: Repceméz minták effuzivitás értéke a hozzáadott izocukor függvényében

### 5.5. Friss tojás és rehidratált tojáspor vizsgálata

Nyers tojások esetén, egyrészt meghatároztuk több madárfaj (hat különböző faj) esetén külön-külön az effuzivitás értékét a tojásfehérjére és a tojássárgájára, másrészt a fehérje és a sárgája keverékére kapott tojáslére is. A kapott eredményeket az 6. táblázat tartalmazza. A táblázatban látható  $\pm$  értékek a háromszori ismétlésből adódó szórást mutatják.



6. táblázat: Különböző fajok tojásainak effuzivitás értékei.

Faj	Tojássárgája effuzivitás értéke	Tojásfehérje effuzivitás értéke	Tojáslé effuzivitás értéke
	$W \cdot s^{1/2} \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$		
Kacsa	1038±2	1517±5	1172±3
Gyöngytyúk	1049±5	1475±16	1267±23
Fácán	1055±6	1471±13	1261±16
Lúd	1065±2	1530±8	1278±6
Kínai tyúk	1086±4	1538±8	1265±5
Tyúk	1122±31	1511±21	1305±3
Fürj	1144±5	1519±4	1354±8

A kapott eredmények alapján kijelenthető, hogy a tojássárgája minták effuzivitás értéke szignifikánsan kisebbek voltak a tojásfehérje értékeknél minden madárfaj esetében. Az effuzivitás értékek tojássárgájánál  $1030 W \cdot s^{1/2} \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$  és  $1150 W \cdot s^{1/2} \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$  közé, míg tojásfehérjénél  $1470 W \cdot s^{1/2} \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$  és  $1545 W \cdot s^{1/2} \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$  értékek közé estek. A keverék minták effuzivitás értékei minden madárfaj esetében a tojássárgája és a tojásfehérje effuzivitás értékei között helyezkedtek el. A tojásfehérje nagy effuzivitás értékét a nagy víztartalma és a kicsi (termék specifikáció alapján 0) zsírtartalma adja. Ennek megfelelően a

tojássárgája kisebb effuzivitás értékét a kisebb víztartalom és a nagyobb zsírtartalom okozza. Következtetesként levonható, hogy a kevert minták effuzivitás értékét nem csak a tojásfehérje és a tojássárgája effuzivitás értéke befolyásolja, hanem azok keverési aránya is.

Az így kapott eredmények szignifikanciáját statisztikai tesztekkel (F-, t-teszt) határoztuk meg, a kapott eredményeket az 7. táblázat mutatja.

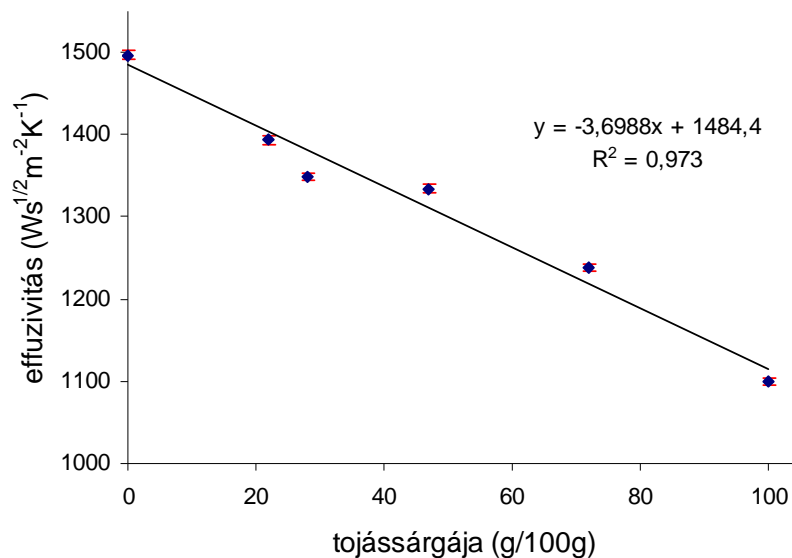
7. táblázat: A tojásmintákra kapott eredmények statisztikai (F és t-próba analízise; a szimbólumok+ (fehérje), # (sárgája) és \* (tojáslé) a szignifikáns különbséget mutatják.

Faj	Gyöngy - tyúk	Fácán	Lúd	Kínai tyúk	Tyúk	Fürj
Kacsa	+ * #	+ # * #	+ # * #	+ # * #	+ # * #	+ # * #
Gyöngy tyúk		#	+ #	+ #	+ # *	+ # *
Fácán			+ #	+ #	+ # *	+ # *
Lúd				#	# *	# *
Kínai tyúk					# *	# *
Tyúk						# *

A hét különböző madárfaj esetében a két tojásalkotó valamint a keverékük összehasonlításához összesen 63 statisztikai próbát végeztünk el. Az 7. táblázatban látható, hogy mely madárfajok tojásalkotói és azok keverékéből kapott mintákra kaptunk p=0,95-ös szinten az F és t próbával szignifikáns különbséget. Öt esetben

(gyöngytyúk/tyúk; gyöngytyúk/fürj; fácán/tyúk; fácán/fürj és fácán/kacsa) szignifikáns különbséget kaptunk mindhárom (tojássárgája, tojásfehérje és tojássárgája-tojásfehérje keverék) effuzivitás értéknél. Ezt a 7. táblázatban +, # és \* értékek mutatják. Kilenc esetben a tojásfehérje effuzivitás értéke és a keverék effuzivitás értéke – de a tojásfehérje effuzivitás értéke nem – szintén szignifikáns eltérést mutat. Négy esetben a tojásfehérje és a tojássárgája – de a tojássárgája-tojásfehérje keverék effuzivitás értéke nem – effuzivitás értéke szignifikáns különbséget adott. Csak egy esetben (kacsa/gyöngytyúk) adott a tojásfehérje és a tojássárgája-tojásfehérje keverék szignifikáns különbséget.

Tyúktojásnál az iparban nagy jelentősége van, az ún. friss tojáslének. Mivel a tojás különböző alkotói eltérő kereskedelmi áron kaphatóak, (a tojássárgája lé átlagos kereskedelmi ára lényegesen nagyobb (785 Ft/kg) mint a tojásfehérje lé átlagos kereskedelmi ára (448 Ft/kg)), ezért a friss tojáslé összetétele (sárgája-fehérje arány) is lényeges az ipar számára. Emiatt kísérleteket folytattunk a tojás sárgája/fehérje arány kimutatására. Különböző tojás sárgája/fehérje arányban ( $S_1$  –  $S_5$ ) mintákat állítottunk elő, melyek effuzivitás értékét meghatároztuk. A kapott értékek a 14. ábrán láthatóak.



14. ábra: Tojásfehérje effuzivitás értékei a hozzáadott tojássárgája függésében

Az 14. ábrán jól látható, hogy a tojásfehérjéhez adott tojássárgája mennyiség a tojásfehérje effuzivitás értékét lineárisan csökkentette ( $R^2=0,973$ ). A csökkenés a tojásfehérje és tojássárgája összetételében eltérő zsír/víz arányból származik. A sárgája hozzáadásával növekszik a zsír aránya, míg a víztartalom csökken. A kapott eredmények alapján úgy tűnik, hogy a fotopiroelektromos módszer alkalmas eltérő összetételű tojáslevekben a hőeffuzivitás meghatározására és így a tojásfehérje/tojássárgája arány kimutatására.

Kísérleteink kiterjedtek nem csak a friss tojások, hanem tojásporokból rehidratált tojásfehérjére, tojássárgájára és tojáslére is. A rehidratálást az anyag és módszer fejezetben leírtak szerint végeztük. Mindhárom

rehidratált mintán kapott értéket összehasonlítottuk a friss tyúktojás mintákon mért eredményekkel (8. táblázat).

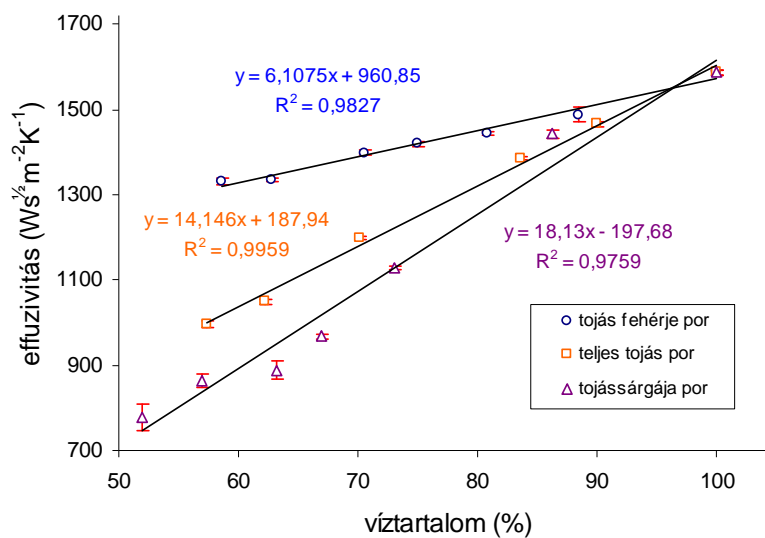
8. táblázat: A friss tojás és rehidratált tojásporok effuzivitás értékeinek összehasonlítás.

<b>Effuzivitás (<math>W \cdot s^{1/2} \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}</math>)</b>	<b>Tyúktojás</b>	<b>Rehidratált tojáspor</b>
Sárgája	1122±31	793±43
Fehérje	1511±21	1487±25
Tojáslé	1305±15	1338±10

A 8. táblázatban lévő rehidratált tojáspor minták a gyártó által ajánlott mennyiségű vizet tartalmazták. A táblázatban szereplő  $\pm$  értékek a háromszori mérési eredmények szórását mutatják. Jól látható, hogy a rehidratált tojásfehérje por valamint rehidratált teljes tojáspor esetében az effuzivitás értékek megfelelnek a friss tojás azonos alkotójának effuzivitás értékével. Ugyanakkor a rehidratált tojássárgája por mintánál kapott effuzivitás érték jelentős eltérést mutat a friss tojássárgáján mért effuzivitástól.

A rehidratált tojássárgáján kapott eltérő eredményből kiindulva megvizsgáltuk a rehidratált tojások effuzivitás értékének a hozzáadott víz mennyiségétől való függését. A kapott értékeket a 15. ábra mutatja. Az ábrán a 100%-os minta a csapvizet jelöli. A kapott eredmények alapján kijelenthetjük, hogy tojásporok effuzivitás értékét mindhárom esetben lineárisan befolyásolja a rehidratáláshoz használt

víz mennyisége (rehidratált tojásfehérje por  $R^2=0,9827$ ; rehidratált tojássárgája por  $R^2=0,9759$ ; rehidratált teljes tojáspor  $R^2=0,9959$ ).



15. ábra: Rehidratált tojásporok effuzivitás értéke a víztartalom függvényében

A rehidratált tojásporok effuzivitását az egységnyi mennyiségű hozzáadott víz eltérő mértékben befolyásolta. Jól látható, hogy egy egységnyi víz hozzáadásával a tojás sárgája por effuzivitás értéke nő a legnagyobb mértékben. A növekedés mértéke  $18,13 \text{ W} \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ . A legkevésbé a tojásfehérje por effuzivitás értékét növelte a hozzáadott víz. Egy egységnyi víz  $6,1 \text{ W} \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ -os effuzivitás érték növelést okozott. A termékspecifikáció alapján (2. táblázat) a tojásfehérje por nem tartalmaz zsírt. Ebből következik, hogy a minták effuzivitás értékének változását csak a minta fehérje tartalmának változása okozhatta. Tehát kísérleti úton rehidratált tojásfehérje por esetében

bizonyítható, hogy a fehérje tartalom változása befolyásolja a minták effuzivitás értékét. Jól látható hogy a rehidratált tojássárgája por (2. táblázat alapján  $50\pm 5\%$  zsírtartalom) effuzivitás értéke sokkal nagyobb mértékben csökken a tojásfehérje por effuzivitás értékénél. Ebből arra lehet következtetni, hogy rehidratált tojáspor esetében az effuzivitás értéket a zsírtartalom sokkal nagyobb mértékben (3x) befolyásolja a fehérjetartalomnál.

#### *5.6. Effuzivitás számított értékeinek összehasonlítása az IPPE mérőrendszerrel mért értékekkel*

A különböző élelmiszerek effuzivitás értékének számításához szükséges sűrűség, fajlagos hőkapacitás és hővezetési tényező értékeket – az irodalom alapján – a 2.5.2.-es fejezetben már ismertettük. A számításokat a [3] összefüggés alapján végeztük el. Az így kapott effuzivitás értékeket valamint az általunk mért effuzivitás értékeket a 9. táblázat tartalmazza.

9. táblázat: Az irodalomban megtalálható adatokból számolt és a mért effuzivitás értékek összehasonlítása.

Minta	Számított effuzivitás	A mért effuzivitás	Eltérés
	$W \cdot s^{1/2} \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$		%
Tej	1444,6	1424±14	1,4
Tojás sárgája	1095,7	1122±31	2,4
Tojás fehérje	1421,8	1496±21	5,2
20% tojás sárgája (S2*)	1362,8	1393±5	2,2
40% tojás sárgája (S3*)	1297,4	1336±4	3,0
Tejszín (20% zsírtartalom)	1143,1	1273±5	11,3

A 9. táblázatban látható S2\* és S3\* a 15. ábrán található kalibrációs egyenesből meghatározott értékek 20 illetve 40%-os tojássárgája tartalomra vonatkoztatva. Mint az a táblázatból jól látszik a tejszín kivételével a fajlagos hőkapacitásból, a sűrűségből és a hővezetési tényezőből számított effuzivitás értékek valamint a mért effuzivitás értékek közötti eltérések 5% vagy annál kisebbek. Tejszínre vonatkozóan az eltérés 11%, amely adódhat a tejszínek eltérő frissességétől is.



## 6. Következtetések

Amint azt méréseink is igazolják az általunk összeállított inverz fotopiroelektromos mérőrendszer laboratóriumi körülmények között alkalmas kolloid élelmiszerek effuzivitás értékének közvetlen meghatározására. Az IPPE mérőrendszer előnye a szintén fotopiroelektromos effektust alapul vevő SPPE mérőrendszerrel szemben, hogy nem kíván előzetes mérést a minta vastagságának meghatározására, hiszen az effuzivitás érték számításához ennél a konfigurációnál a minta vastagságának ismerete lényegtelen.

Az általunk megmért élelmiszerek effuzivitás értékei és az irodalomban megtalálható effuzivitás értékek jó egyezőséget mutatnak. Tehát az IPPE mérőrendszer gyorsan, roncsolás mentesen képes az élelmiszerek effuzivitásának direkt meghatározására, amire korábban csak számításos módszer állt rendelkezésre. Kijelenthető továbbá, hogy az effuzivitás értékét az élelmiszerek beltartalmi értékei jelentősen befolyásolják. Az élelmiszerek víztartalma növelésével az élelmiszerek effuzivitás értékük növelését, zsírtartalmuk növelésével az effuzivitás értékük csökkenését okozzuk. Az eredmények alapján tehát kijelenthető, hogy a kolloid élelmiszerek zsírtartalma egy előzetesen felvett kalibrációs görbe után meghatározható az IPPE módszer segítségével. Ez különösen jelentős a tej és a húsiparban. Vizsgálataink kiterjedtek a tejipar számos termékére és mindegyik esetben alkalmasnak bizonyult az eltérő zsírtartalom kimutatására. Az eredmények azt is mutatják, hogy a zsírtartalom változás mértéke

mindegyik esetben lineáris volt. A lineáris esése azonban termékenként eltért.

Továbbá két esetben az élelmiszer manipulációt is meg lehet határozni az IPPE mérési módszerrel. Bár az élelmiszer manipuláció kimutatásánál az is igaz, hogy a manipulációt ki lehet mutatni, azonban, hogy a manipuláció milyen anyaggal történt azt már nem. Ez abból adódik, hogy az élelmiszerhez adott eltérő anyag beltartalmi értékei eltérnek az eredeti élelmiszer beltartalmi értékeitől és ezáltal annak effuzivitás értékét is befolyásolja. Ezt a változást képes meghatározni az IPPE mérőrendszer. Azonban ha figyelembe vesszük a módszer olcsóságát, gyorsaságát valamint, hogy a módszerrel roncsolás mentesen lehet a méréseket elvégezni így is jelentős előrelépés lehet az élelmiszerek valódiságának meghatározásánál.

A módszer továbbá alkalmas különböző fajok tojásainak effuzivitás értékeinek meghatározására. Mint azt az 5. táblázat jól mutatja, az általunk megmért tojások szignifikáns különbséget mutatnak az egyes alkotóik effuzivitás értékeiben. Tehát egy adott faj tojásának meghatározására is alkalmas a mérőrendszer.

Rehidratált tojásporok effuzivitás értékeinek meghatározására is alkalmas a mérőrendszer. Mindhárom por esetében alkalmas volt a rehidratáláshoz felhasznált víz mennyiségének meghatározására. A rehidratált tojásporok és a friss tyúktojás összehasonlításánál kiderült, hogy a tojáspor-gyártóval szemben a tojássárgája pornál az optimális effuzivitás érték eléréséhez más rehidratálási arány lenne jó.

Ez lényeges lehet az ipar számára nemcsak az alapanyag felhasználás miatt, hanem a különböző hőhatások optimalizálásához is.

Az általunk mért effuzivitás értékeket összehasonlítottuk az irodalomból vett fajlagos hőkapacitás, sűrűség és hővezetés értékekből számított effuzivitás értékekkel. Az eredményekből jól látszik, hogy a számított értékek és az általunk mért értékek jó egyezőséget mutatnak. A két érték közötti eltérés 5% alatti volt. Ez alól csupán a tejszín volt kivétel ahol a két érték 10%-os eltérést mutatott. Az értékekből jól látszik, hogy a mérőrendszer által direkt mérésből kapott eredményeket nem szükséges semmiféle állandóval korrigálni, hogy megkapjuk az élelmiszerek valós effuzivitás értékét.

## 7. Új tudományos eredmények

1. Közvetlen mérésekkel igazoltam, hogy az effuzivitás definíciójának megfelelően ( $e=(\kappa\rho c)^{1/2}$ ) a hőtani paraméterekből számított és a közvetlen mérésekkel kapott értékek gyakorlatilag megegyeznek.

2. Elsőként határoztam meg adott beltartalmi értékek ismeretében kefir ( $1481\pm 4,52 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ), kaukázusi kefir ( $1519\pm 7,92 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ), natúr joghurt ( $1481\pm 9,05 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ), tej ( $1424\pm 15,84 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ), bor ( $1544\pm 18,11 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ), bébiételek ( $1700\pm 18,11 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ;  $1802\pm 35,07 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ;  $1907\pm 18,10 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ) effuzivitás értékét. A nagy víztartalmú anyagok, mint pl. a tej, a bor effuzivitás értékei megközelítik a víz effuzivitását, míg a bébiételek – nagy valószínűséggel – szerkezeti tulajdonságuknál fogva meg is haladják azt.

3. Kimutattam, hogy a zsírtartalom növelése tejszín, tejföl, ömlesztett sajt, majonéz és sertéskaraj mintáknál csökkenti az élelmiszerek effuzivitását. A csökkenés mind az öt esetben (tejszín  $R^2=0,987$ , tejföl  $R^2=0,9872$ , ömlesztett sajt  $R^2=0,9967$ , majonéz  $R^2=0,9739$ , sertéskaraj  $R^2=0,9885$ ) lineáris volt.

4. Különböző fajok tojásainak effuzivitás értékét is meghatároztam. Kimutattam, hogy a tojásfehérje effuzivitás értéke – a vizsgált fajok esetén – több mint 40%-kal haladja meg a tojás sárgájának effuzivitását. Ennek alapján meghatároztam tojáslében az effuzivitás összetételétől (fehérje-sárgája arány) függő kalibrációs görbét, amely közvetlenül alkalmas tojáslében a sárgája illetve fehérje arányának kimutatására ismert faj esetében.

5. Meghatároztam tojásporok (fehérje- sárgája- és teljes tojáspor) esetében a rehidratáláshoz szükséges optimális víztartalmat annak érdekében, hogy a friss tojásalkotók és rehidratált tojásporok hőtani tulajdonságai azonosak legyenek. Ennek kapcsán közvetlen mérésekkel igazoltam, hogy a gyártó által előírt hozzáadott víz mennyiségével rehidratált tojásfehérjére és a teljes tojásporra kapott eredmények szignifikánsan nem térnek el a friss tojás effuzivitás értékétől, ugyanakkor tojássárgája porra ez az érték mindössze 70%-a a friss tojás sárgájának. Ez utóbbi azt jelenti, hogy több vizet kell adni a tojássárgája porhoz, hogy a hőtani tulajdonságai közel azonosak legyenek a friss tojás sárgájának effuzivitásával.

6. Borok minősége (testessége), többek között azok glicerintartalmának függvénye. Ezért előírások vonatkoznak ennek koncentrációjára. Gyakorlatban is előfordul, hogy hozzáadott glicerin segítségével „javítják” fel a kevésbé testes

borokat. Az alkalmazott fotopiroelektromos módszer segítségével – mérve a borok effuzivitás értékeit – meghatároztam a glicerintartalom és az effuzivitás közötti kapcsolatot, amely alkalmas az ilyen típusú hamisítások kimutatására.

7. Mézek hamisításának egyik legegyszerűbb módja, hogy a mézhez – általában kukoricából készült – izocukrot kevernek. Ennek aránya befolyással van az effuzivitás értékére. Közvetlen méréssel meghatároztam repceméz, és izocukor-repceméz keverékek effuzivitás értékét. Az izocukor tartalom és az effuzivitás között lineáris kapcsolatot találtam, amely alkalmas a hozzáadott izocukor tartalom kimutatására.

8. Kísérletileg igazoltam, hogy a fehérjetartalom növekedése az effuzivitás értékének csökkenését eredményezi. A kapott összefüggés lineáris és egységnyi fehérjetartalom növekedés (1%)  $6,1 \text{ W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$  effuzivitás érték csökkenést jelent rehidratált tojásfehérje por esetében.

## 8. Összefoglalás

A fotopiroelektromos effektus (PPE) szinte még teljesen ismeretlen hazánkban, pedig a módszer alkalmazásával különböző élelmiszerek hőtani tulajdonságai közvetlenül meghatározhatók. Az élelmiszerek termikus tulajdonságainak megismerése fontos technológiai újításokat eredményezhet az élelmiszeripar területén. Mindezek mellett az élelmiszerhamisítások leleplezésében is fontos szerepet játszhat az elkövetkező időkben. A fotopiroelektromos vizsgálatok nagy előnye a hozzá hasonló mérési módszerekkel szemben a mérések viszonylagos egyszerűsége, gyorsasága és költséghatékonyasága. A fotopiroelektromos módszernek többféle elrendezése ismert. Ilyenek a sztenderd és az inverz fotopiroelektromos módszer. A két elrendezést a minta és a szenzor elhelyezése különbözteti meg egymástól. Mindkét konfiguráció esetében szaggatott fénynyalábot alkalmaznak. Ez a szaggatott fény abszorbeálódik – inverz elrendezésnél a piroelektromos fólián, míg sztenderd elrendezésnél a mintán – és hőhullámokká alakul. A bekövetkező hőmérsékletváltozást a piroelektromos fólia detektálja. Ezáltal létrejön a fotopiroelektromos jel, amelyből relatív módszerrel a minta effuzivitás értéke közvetlenül kiszámítható.

Kísérleteinkben különböző élelmiszerek hőeffuzivitását határoztuk meg, amelyhez az inverz fotopiroelektromos elrendezést alkalmaztuk. Ennek a módszernek előnye, hogy nem kell ismerni a mérendő minta vastagságát, ami megkönnyíti a mérés menetét. Első lépésként egy

laboratóriumi körülmények között működő rendszert kellett összeállítani, amivel a tervezett méréseket el tudtuk végezni.

A mérőrendszer összeállítását követően számos élelmiszer effuzivitás értékét mértük meg és a kapott értékeket összehasonlítottuk az irodalomban megtalálható értékekkel. Ezután az irodalomban eddig ismeretlen effuzivitású élelmiszerek effuzivitás értékét határoztuk meg.

Méréseink következő lépéseként különböző élelmiszerek effuzivitását határoztuk meg azok zsírtartalmának függvényében. A kapott eredmények jól mutatják, hogy az adott élelmiszer zsírtartalmának növelése lineárisan csökkenti az élelmiszer effuzivitás értékét és lehetőséget nyújt élelmiszerek zsírtartalmának meghatározására.

Méréseink kiterjedtek különböző élelmiszer manipulációk kimutatására is. Bor és méz minták esetében a leggyakrabban használt manipulációs technikákat (glicerin valamint izocukor hozzáadását) sikerült kimutatni. A kvalitatív eredmény mellett, analitikai összefüggéseket határoztunk meg a hamisítás mértékének kimutatására.

A különböző madárfajok tojásainak és tojás alkotóinak effuzivitás értékeit és meghatároztuk, valamint statisztikai módszerrel bebizonyítottuk ezek szignifikáns különbségét. Továbbá tojásporok rehidratálás mértékére tettünk javaslatokat a minták effuzivitás értékének egyezése alapján. A kapott eredményekből kiindulva az ipari alkalmazás megváltoztatása is javasolható. Mivel az effuzivitás értéke más módszerekkel közvetlenül nem mérhető ezért a PPE



módszer megjelenése előtt csak az adott fizikai paraméterek ismeretéből való számításos úton lehetett meghatározni. Alkalmazva az IPPE módszert, azaz közvetlenül határoztuk meg az effuzivitást, ami lehetőséget adott a számított eredményekkel való összehasonlításra. Az eredmények 10%-nál kisebb eltérést mutattak.

## Irodalom

Abdel-Aal A.H. (2001): On the connection of thermal dilatation to protective layer formation in the fretting of metallic tribo-specimens. *Wear*, **247** 76–87.

Abdelalim A., Abdallah S., Easawi K., Negm S., Talaat H. (2010): Thermal properties of hydrated cement pastes studied by the photoacoustic technique. *Journal of Physics: Conference Series*, **214** 1–4.

Aguirre G., Arriola G., Gómez-Hernández J., López T., Picquart M., Aguilar D.H., Quintana P., Alvarado-Gil J.J. (2004): Thermal characterization during dehydration of nitrifying and denitrifying microbiological mud encapsulated in silica gel. *Thermochimica Acta*, **421** 211–215.

Akterian S.G., Fernandez P.S., Hendrickx M.E., Tobback P.P., Periago P.M., Martinez A. (1999): Risk analysis of the thermal sterilization process: Analysis of factors affecting the thermal resistance of microorganisms. *International Journal of Food Microbiology*, **47** 51–57.

Al-asfoor F.K.M., Yunus W.M.M., Zakaria A. (2008): Thermal effusivity measurement of virgin coconut oil-methanol mixtures using photoacoustic technique. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, **1** 200–203.

Aljaafari A.A., Ibrahim S.S., El-Brolosy T.A. (2011): Thermophysical and electrical characterization of PVC–SWNT nanocomposites. *Composites: Part A*, **42** 394–399.

Antczak E., Chauchois A., Defer D., Duthoit B. (2003): Characterisation of the thermal effusivity of a partially saturated soil by the inverse method in the frequency domain. *Applied Thermal Engineering*, **23** 1525–1536.

Antczak E., Defer D., Elaoami M., Chauchois A., Duthoit B. (2007): Monitoring and thermal characterisation of cement matrix materials using non-destructive testing. *NDT&E International*, **40** 428–438.

Arámbula-Villa G., Gutiérrez-Árias E., Moreno-Martínez E. (2007): Thermal properties of maize masa and tortillas with different components from maize grains, and additives. *Journal of Food Engineering*, **80** 55–60.

Ayachit H.N., Vasan S.T., Sannaningannavar F.M., Deshpande D.K. (2007): Thermodynamic and acoustical parameters of some nematic liquid crystals. *Journal of Molecular Liquids*, **133** 134–138.

Balderas-López J.A. (1999): Measurements of thermal effusivity of liquids using a conventional photoacoustic cell. *Review of Scientific Instruments*, **70** 2069–2071.

Balderas-López J.A. (2003): Measurements of the thermal effusivity of transparent liquids by means of a photopyroelectric technique. *Revista Mexicana de Física*, **49** 353–357.

Barbano D.M., Clark J.L. (1990): Kjeldahl method for determination of total nitrogen content of milk: collaborative study. *Association of Official Analytical Chemists*, **73** 849–859.

Bedek G., Salaün F., Martinkovska Z., Devaux E., Dupont D. (2011): Evaluation of thermal and moisture management properties on knitted fabrics and comparison with a physiological model in warm conditions. *Applied Ergonomics*, **42** 792–800.

Bicanic D., Chirtoc M., Dadarlat D., van Bovenkamp P., van Schayk H. (1992): Direct determination of thermophysical parameter  $\sqrt{K\rho c}$  in mayonnaise, shortening, and edible oil. *Applied Spectroscopy*, **46** 602–605.

Bicanic D., Chirtoc M., Dadarlat D., Chirtoc I., Loon W., Bot G. (1994): Measurement of the heat penetration coefficient ( $\kappa\rho c$ )<sup>1/2</sup> in margarine and cultured milk products by the inverse photopyroelectric technique. *International Dairy Journal*, **4** 555–565.

Bicanic D., Dadarlat D., Gibkes J., Chirtoc M., Favier J.P., Gerkema E. (1995): The photopyroelectric approach to thermal characterization of foodstuffs and an optothermal accessory for obtaining their infrared spectra. *Acta Chemica Slovenica*, **42** 153–173.

Bolton D.J., McMahon C.M., Doherty A.M., Sheridan J.J., McDowell D.A., Blair I.S., Harrington D. (2000): Thermal inactivation of *Listeria monocytogenes* and *Yersinia enterocolitica* in minced beef under laboratory conditions and in sous-vide prepared minced and solid beef cooked in a commercial retort. *Journal of Applied Microbiology*, **88** 626–632.

Buzágh A. (1951): Kolloidika: A kolloidkémia és kolloidfizika kézikönyve. I. kötet második kiadás. Akadémiai Kiadó Budapest.

Carpentier O., Defer D., Antczak E., Chauchois A., Duthoit B. (2008): In situ thermal properties characterization using frequential methods. *Energy and Buildings*, **40** 300–307.

Chirtoc M., Bentefour E.H., Glorieux C., Thoen J. (2001): Development of the front-detection photopyroelectric (FPPE) configuration for thermophysical study of glass-forming liquids. *Thermochimica Acta*, **377** 105–112.

Cogné C., Andrieu J., Laurent P., Besson A., Nocquet J. (2003): Experimental data and modelling of thermal properties of ice creams. *Journal of Food Engineering*, **58** 331–341.

Coimbra R.S.J., Gabas L.A., Minim A.L., Garcia Rojas E.E., Telis N.R.V., Telis-Romero J. (2006): Density, heat capacity and thermal conductivity of liquid egg products. *Journal of Food Engineering*, **74** 186–190.

Coquard R., Baillis D., Quenard D. (2006): Experimental and theoretical study of the hot-wire method applied to low-density thermal insulators. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **49** 4511–4524.

Cornillon P., Andrieu J. (1995): Use of nuclear magnetic resonance to model thermophysical properties of frozen and unfrozen model food gels. *Journal of Food Engineering*, **25** 1–19.

Coufal H., Hefferle P. (1985): Thermal diffusivity measurements of thin films with a pyroelectric calorimeter. *Applied Physics A*, **38** 213–219.

Crocker W.P., Jenkins D.I., Provan A.L., Macdonald F.J., Rowland S.J., White J.C.D. (1955): A comparison of the Gerber and Röse Gottlieb methods for the determination of fat in milk. *Journal of Dairy Research*, **22** 336–339.

Csapó J., Csapóné Kiss Zs. (2003): Élelmiszer-kémia. Mezőgazda kiadó. Budapest, pp. 162–166.

Dadarlat D., Chirtoc M., Neamtu C., Condea R.M., Bicanic D. (1990): Inverse photopyroelectric detection method. *Physical Status Solidi (A)*, **121** 231–238.

Dadarlat D., Frandas A. (1993): Inverse photopyroelectric detection of phase transitions. *Applied Physics A: Materials Science & Processing*, **57** 235–238.

Dadarlat D., Bicanic D., Visser H., Mercuri F. (1995a): Photopyroelectric method for determination of thermophysical parameters and detection of phase transitions in fatty acids and triglycerides. Part I: Principles, theory, and instrumental concepts. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, **72** 273–279.

Dadarlat D., Bicanic D., Visser H., Mercuri F., Frandas A. (1995b): Photopyroelectric determination of thermophysical parameters and detection of phase transitions in fatty acids and triglycerides. Part II: Temperature dependence of thermophysical parameters. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, **72** 281–287.

Dadarlat D., Visser H., Bicanic D. (1995c): An improved inverse photopyroelectric cell for measurement of thermal effusivity: application to fatty acids and triglycerides. *Measurements Science and Technology*, **6** 1215–1219.

Dadarlat D., Gibkes J., Bicanic D., Pasca A. (1996): Photopyroelectric (PPE) measurement of thermal parameters in food products. *Journal of Food Engineering*, **30** 155–162.

Dadarlat D., Riezebos K.J., Bicanic D., Van den Berg C., Gerkema E., Surducan V. (1998): Photopyroelectric study of thermal properties of diluted and concentrated sugar systems. Application to aqueous solutions of maltose, glukose and maltodextrine, and to honey of varying moisture content. *Advances in Food Sciences (CTML)*, **20** 27–33.

Dadarlat D., Neamt C. (2006): Detection of molecular associations in liquids by photopyroelectric measurements of thermal effusivity. *Measurement Science and Technology*, **17** 3250–3254.

Dadarlat D., Neamt C. (2009): High performance photopyroelectric calorimetry of liquids. *Acta Chimica Slovenica*, **56** 225–236.

Dadarlat D., Pop M.N. (2012): Self-consistent photopyroelectric calorimetry for liquids. *International Journal of Thermal Sciences*, **56** 19-22.

Delenclos S., Chirtoc M., Sahraoui A.H., Kolinsky C., Buisine J.M. (2002): Assessment of calibration procedures for accurate determination of thermal parameters of liquids and their temperature dependence using the photopyroelectric method. *Review of Scientific Instruments*, **73** 2773–2781.

Delgado G.F., Rincón F.Z., Vela A.O. (2008): Coffee certification criterion using the photoacoustic technique. *Mikroelectronics Journal*, **39** 1331–1332.

Delgado-Vasallo O., Valdés A.C., Marín E., Lima J.A.P. (2000): Optical and thermal properties of liquids measured by means of an open photoacoustic cell. *Measurement Science and Technology*, **11** 412–417.

Donsi G., Ferrari G., Nigro R. (1996): Experimental determination of thermal conductivity of apple and potato at different moisture contents. *Journal of Food Engineering*, **30** 263–268.

Douzane O., Roucoult J-M., Langlet T. (1999): Thermophysical property measurements of building materials in a periodic state. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **42** 3947–3958.

Eickenbusch H., Brunn P.O., Schumpe A. (1995): Mass transfer into viscous pseudoplastic liquid in large-diameter bubble columns. *Chemical Engineering and Processing*, **34** 479–485.

El-Brolosy T.A., Ibrahim S.S. (2010): Photoacoustic measurement of thermal properties of polystyrene metal oxide composites. *Thermochimica Acta*, **509** 46–49.

Evers J.M., Crawford R.A., Wightman L.M., Beutick G.J., Contarini G., Farrington D.S. (1999): An accurate and rapid method for the direct determination of fat in butter, butter-margarine blends and milk fat spreads. *International Dairy Journal*, **9** 675–682.

Fang C., Campbell G.M. (2000): Effect of measurement method and moisture content on wheat kernel density measurement. *Institution of Chemical Engineers*, **78** 179–186.

Fernández-Martín F., Monstes F. (1977): Thermal conductivity of creams. *Journal of Dairy Research*, **44** 103–109.

Forcato D.O., Carmine M.P., Echeverría G.E., Pécora R.P., Kivatinitz S.C. (2005): Milk fat content measurement by a simple UV spectrophotometric method: An alternative screening method. *Journal of Dairy Science*, **88** 478–481.

Gavrilă L., Fînaru A., Istrati L., Simion A.I., Ciocan M.E. (2005): Influence of temperature, fat and water content on the thermal conductivity of some dairy products. *Agroalimentary Processes and Technologies*, **11** 205–210.

Guimarães A.O., Machado F.A.L., da Silva E.C., Mansanares A.M. (2012): Investigating thermal properties of biodisel/diesel mixtures using photopyroelectric technique. *Thermochimica Acta*, **527** 125–130.

Gultekin D.H., Gore J.C. (2010): Measurement of specific heat and specific absorption rate by nuclear magnetic resonance. *Thermochimica Acta*, **503–504** 100–107.

Gultekin D.H., Gore J.C. (2011): Simultaneous measurements of thermal conductivity, thermal diffusivity and specific heat by nuclear magnetic resonance imaging. *Thermochimica Acta*, **519** 96–102.

Hernández-Guevara A., Cruz-Orea A., Vigil O., Villavicencio H., Sánchez-Sinencio F. (2000): Thermal and optical characterization of  $Zn_x Cd_{1-x}S$  embedded in a zeolite host. *Materials Letters*, **44** 330–335.

Hmina N., Scudeller Y. (1998): Thermal interface resistance and subsurface effusivity of submicron metallic films on dielectric substrates: an experimental method for simultaneous determination. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **41** 2781–2798.

Hornero-Méndez D., Pérez-Gálvez A., Mínguez-Mosquera M.I. (2001): A rapid spectrophotometric method for the determination of peroxide value in food lipids with high carotenoid content. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, **78** 1151–1155.



Hu J., Sari O., Eicher S., Rija Rakotozanakajy A. (2009): Determination of specific heat of milk at different fat content between 1 °C and 59 °C using micro DSC. *Journal of Food Engineering*, **90** 395–399.

Huang L., Liu L.S. (2009): Simultaneous determination of thermal conductivity and thermal diffusivity of food and agricultural materials using a transient plane-source method. *Journal of Food Engineering*, **95** 179–185.

Hunt R.E., Rock N.B. (1989): Detection of changes in leaf water content using near- and middle-infrared reflectances. *Remote sensing of environment*, **30** 43–54.

Jury V., Monteau J-Y., Comiti J., Le-Bail A. (2007): Determination and prediction of thermal conductivity of frozen part baked bread during thawing and baking. *Food Research International*, **40** 874–882.

Kaewmanee T., Benjakul S., Visessanguan W. (2009): Changes in chemical composition, physical properties and microstructure of duck egg as influenced by salting. *Food Chemistry*, **112** 560–569.

Kantrong H., Tansakul A., Mittal G.S. (2009): Determination of thermal conductivity of shiitake mushroom. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, **2** 17–23.

Kažys R., Rekuviene R. (2011): Viscosity and density measurement methods for polymer melts. *Ultragarsas*, **66** 20–25.

Kemp R.M., North M.F., Leath S.R. (2009): Component heat capacities for lamb, beef and pork at elevated temperatures. *Journal of Food Engineering*, **92** 280–284.

Kijowski J.M., Mast M.G. (1988): Thermal properties of proteins in chicken broiler tissues. *Journal of Science*, **53** 363–366.

Kleyn D.H., Lynch J.M., Barbano D.M., Bloom M.J., Mitchell M.W. (2001): Determination of fat in raw and processed milks by the Gerber method: collaborative study. *Journal of AOAC International*, **84** 1499–1508.

Koca N., Metin M. (2004): Textural, melting and sensory properties of low-fat fresh kashar cheeses produced by using fat replacers. *International Dairy Journal*, **14** 365–373.

Kostaropoulos A.E., Saravacod G.D. (1997): Thermal diffusivity of granular and porous foods at low moisture content. *Journal of Food Engineering*, **33** 101–109.

Lindsay D.T., Lovatt S.J. (1994): Further enthalpy values of foods measured by an adiabatic calorimeter *Journal of Food Engineering*, **23** 609–620.

Lopez C., Briard-Bion V., Camier B., Gassi J.Y. (2006): Milk fat thermal properties and solid fat content in emmental cheese: A differential scanning calorimetry study. *Journal of Dairy Science*, **89** 2894–2910.

Li X., Tabil L.G., Oguocha I.N., Panigrahi S. (2008): Thermal diffusivity, thermal conductivity, and specific heat of flax fiber–HDPE biocomposites at processing temperatures. *Composites Science and Technology*, **68** 1753–1758.

Longuemart S., Garcia Quiroz A., Dadarlat D., Hadj Sahraoui A., Kolinsky C., Marc Buisine J., Correa da Silva E., Mansanares A.M., Filip X., Neamtu C. (2002): An application of the front photopyroelectric technique for measuring the thermal effusivity of some foods. *Instrumentation Science & Technology*, **30** 157–165.

Magyar Élelmiszer Könyv (2001): 1-3-2001/110 számú előírás.

Mandelis A., Care F., Chan K.K., Miranda L.C.M. (1985): Photopyroelectric detection of phase transitions in solids. *Applied Physics A*, **38** 117–122.

Marín E. (2007a). Teaching thermal physics by touching. *Latin-American Journal of Physics Education*, **2** 15–17.

Marín E. (2007b): The role of thermal properties in periodic time-varying phenomena. *European Journal of Physic*, **28** 429–445.

Marinelli M., Zammit Z., Mercuri F., Pizzoferrato R. (1992): High-resolution simultaneous photothermal measurements of thermal parameters at a phase transition with the photopyroelectric technique. *Journal of Applied Physics*, **72** 1096–1100.

Martan J., Semmar N., Leborgne C., Le Men E., Mathis J. (2005): Thermal properties characterization of conductive thin films and surfaces by pulsed laser. *Applied Surface Science*, **247** 57–63.

Martinsons C., Heuret M. (1998): Recent progress in the measurement of the thermal properties of hard coatings. *Thin Solid Films*, **317** 455–457.

McBee L.E., Cotterill O.J. (1979): Ion exchange chromatography and electrophoresis of egg yolk. *Journal of Food Science*, **44** 656–660.

Minakov A.A., Adamovsky S.A., Schick C. (2003): Advanced two channel ac calorimeter for simultaneous measurements of complex heat capacity and complex thermal conductivity. *Thermochimica Acta*, **403** 89–103.

Mohsenin N.N. (1980): Thermal properties of foods and agricultural materials. Gordon and Breach science publishers. New York London Paris. pp. 2.

Murakami E.G. (1996): Recommended design parameters for thermal conductivity probes for nonfrozen food materials. *Journal of Food Engineering*, **21** 109–123.

Murakami E.G., Sweat V.E., Sashtry S.K., Kolbe E. (1996): Analysis of various design and operating parameters of the thermal conductivity probe. *Journal of Food Engineering*, **30** 209–225.

Nibu A.G., Vallabhan C.P.G., Nampoori V.P.N., George A.K., Radhakrishnan P. (2001): Photoacoustic evaluation of the thermal effusivity in the isotropic phase of certain comb-shaped polymers. *Journal of Physics: Condensed Matter*, **13** 365–371.

Noroozi M., Zakaria A., Moxsin M.M., Wahab Z.A. (2012): An investigation on the thermal effusivity of nanofluids containing Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and CuO nanoparticles. *International Journal of Molecular Sciences*, **13** 10350–10358.

Oakenfull D., Miyoshi E., Nishinari K., Scott A. (1999): Rheological and thermal properties of milk gels formed with  $\kappa$ -carrageenan an. *I. Sodium caseinate Food Hydrocolloids*, **13** 525–533.

Obata Y., Takeuchi K., Furuta Y., Kanayama K. (2005): Research on better use of wood for sustainable development: Quantitative evaluation of good tactile warmth of wood. *Energy*, **30** 1317–1328.

Pan Z., Singh P.R. (2001): Physical and thermal properties of ground beef during cooking. *Food Science and Technology*, **34** 437–444.

Peralta-Rodríguez R.D., Rodrigo M.E., Kelly P. (1995): A calorimetric method to determine specific heats of prepared foods. *Journal of Food Engineering*, **26** 81–96.

Preethy Menon C., Philip J., Deepthy A., Bhat H.K. (2001): Thermal properties of glycine phosphite across ferroelectric phase transition: A photopyroelectric study. *Materials Research Bulletin*, **36** 2407–2414.

Raykar S.V., Singh K.A. (2010a): Thermal and rheological behavior of acetylacetone stabilized ZnO nanofluids. *Thermochimica Acta*, **502** 60–65.

Raykar V.S., Singh A.K. (2010b): Dispersibility dependence of thermal conductivity of carbon nanotube based nanofluids. *Physics Letters A*, **374** 4618–4621.

Raykar S.V., Singh K.A. (2011): Photoacoustic method for measurement of thermal effusivity of  $\text{Fe}^3\text{O}^4$  nanofluid. *Journal of Thermodynamics*, **2011** 1–5.

Rémiens D. (Ed.), Pyroelectric materials and sensors, research Signpost, Kerala, India, 2007.

Rylatt D.B., Parish C.R. (1982): Protein determination on an automatic spectrophotometer. *Analytical Biochemistry*, **121** 213–214.

Rodriguez P., Cruz G.G. (2003): Photoacoustic measurements of thermal diffusivity of amylase, amilopectin and starch. *Journal of Food Engineering*, **58** 205–209.

Sablani S.S., Rahman S.M. (2003): Using neural networks to predict thermal conductivity of food as a function of moisture content, temperature and apparent porosity. *Food Research International*, **36** 617–623.

Sajan D.G., George K.A., Radhakrishnan P., Nampoori V.P.N., Vallabhan C.P.G. (2007): Photoacoustic studies on thermal parameters of liquid crystal mixtures. *Smart Materials and Structures*, **16** 1298–1301.

Schmilovitch Z., Hoffman A., Egozi H., Ben-Zvi R., Bernstein Z., Alchanatis V. (1999): Maturity determination of fresh dates by near infrared spectrometry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **79** 86–90.

Sankar N., Ramachandran K. (2003): On the thermal and optical properties of ZnSe and doped ZnSe crystals grown by PVT. *Journal of Crystal Growth*, **247** 157–165.

Schwendel D., Hayashi T., Dahint R., Pertsin A., Grunze M., Steitz R., Schreiber F. (2003): Interaction of water with Self-assembled monolayers: Neutron reflectivity measurements of the water density in the interface region. *Langmuir*, **19** 2284–2293.

Seiferlin K., Kömle N.I., Kargl G., Spohn T. (1996): Line heat-source measurements of the thermal conductivity of porous H<sub>2</sub>O ice, CO<sub>2</sub> ice and mineral powders under space conditions. *Planetary and Space Science*, **44** 691–704.

Soldner J., Stephan K. (1999): Measurement of thermal diffusivities with the photoacoustic effect. *Chemical Engineering and Processing*, **38** 585–591.

Solórzano E., Reglero J.A., Rodríguez-Pérez M.A., Lehmus D., Wichmann M., de Saja J.A. (2008): An experimental study on the thermal conductivity of aluminium foams by using the transient plane source method. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **51** 6259–6267.

Szafner G., Dóka O. (2010): Különböző zsírtartalmú tejtermékek termikus effúzitásának közvetlen meghatározása. *Tejgazdaság*, **1-2** 31–37.

Szafner G., Dóka O. (2010b): Effect of fat content on thermal effusivity of food products. *Review of Faculty of Engineering Analecta Technica Szegedinensia*, **2-3** 237–242.

Szafner G., Bicanic D., Dóka O. (2010): Élelmiszeripari termékek hőeffúzitásának fotopiroelektromos meghatározása. *Acta Agronomica Óváriensis*, **52** 11–20.

Szafner G., Bicanic D., Dóka O. (2011): Effect of fat content on the thermal effusivity of foods: An inverse photopyroelectric study. *International Journal of Food Properties*, **14** 666–674.

Szafner G., Bicanic D., Kovácsné Gaál K., Dóka O. (2012): Direct measurement of thermal effusivity of avian eggs and their constituents: A photopyroelectric study. *Food technology and Biotechnology*, **50** 350–354.

Szakály S. (2001): Tejgazdaságtan. Dinasztia kiadó, Budapest pp. 68.

Sukhija P.S., Palmquist D.L. (1988): Rapid method for determination of total fatty acid content and composition of feedstuffs and feces. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **36** 1202–1206.

Sweeney R.A., Rexroad P.R. (1987): Comparison of LECO FP-228 "nitrogen determinator" with AOAC copper catalyst Kjeldahl method for crude protein. *Association of Official Analytical Chemists*, **70** 1028–1030.

Tabil L.G., Eliason M.V., Qi H. (2003): Thermal properties of sugarbeet roots. *Journal of Sugarbeet Research*, **40** 209–228.

Tarko T., Tuszyński T. (2005): Evaluation of methods for determination of alcohol content in emulsion creams. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, **4** 73–81.

Tilly de A., Sousa J.M.M. (2009): On the role of the fluid effusivity in unsteady heat transfer between a boundary layer and a solid wall. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **52** 3869–3872.

Teunou E., Fitzpatrick J.J. (2000): Effect of storage time and consolidation on food powder flowability. *Journal of Food Engineering*, **43** 97–101.

Thompson M., Owen L., Wilkinson K., Wood R., Damant A. (2002): A comparison of the Kjeldahl and Dumas methods for the determination of protein in foods, using data from a proficiency testing scheme. *Analyst*, **127** 1666–1668.

Topp C.G., Davis L.J., Annan P.A. (1980): Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. *Water Resources Research*, **16** 574–582.

Wadsö L., Galindo F.G. (2009): Isothermal calorimetry for biological applications in food science and technology. *Food Control*, **20** 956–961.

Walstra P., Wouters J.T.M., Geurts T.J. (2005): Physical properties of milk and milk products. *Dairy Science and Technology Second Edition*, pp. 756–759.

Wastiels L., Schifferstein H.N.J., Heylighen A., Wouters I. (2012): Relating material experience to technical parameters: A case study on visual and tactile warmth perception of indoor wall materials. *Building and Environment*, **49** 359–367.

Webb P. (2001): Volume and density determination for particle technologists. URL: [www.micromeritics.com/pdf/app\\_articles/density\\_determinations.pdf](http://www.micromeritics.com/pdf/app_articles/density_determinations.pdf), pp. 2–16.

White J.W., Jr. Riethof M.L., Subers M.H., Kushnir I. (1962): Composition of american honeys. Tech, Bull 1261, Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, Washington, DC.

Wiles P.G., Gray I.K., Kissling R.C. (1998): Routine analysis of proteins by Kjeldahl and Dumas methods: Review and inter laboratory study using dairy products. *Journal of AOAC International*, **81** 620–632.

Willix J., Lovatt S.J., Amos N.D. (1998): Additional thermal conductivity values of foods measured by a guarded hot plate. *Journal of Food Engineering*, **37** 159–174.

Yamasue E., Susa M., Fukuyama H., Nagata K. (2002): Thermal conductivities of silicon and germanium in solid and liquid states measured by non-stationary hot wire method with silica coated probe. *Journal of Crystal Growth*, **234** 121–131.

Zaidi H., Senouci A. (1999): Thermal tribological behaviour of composite carbon metal/steel brake. *Applied Surface Science*, **144–145** 265–271.



## Táblázatok és ábrák jegyzéke

### Táblázatok

- 1. táblázat (29. oldal):** Vízre, etilén-glikolra és glicerin mért fajlagos hőkapacitás értékek.
- 2. táblázat (47. oldal):** Tojássárgája-, tojásfehérje és teljes tojáspor főbb beltartalmi paraméterei. (Capriovus Kft. Specifikációja alapján)
- 3. táblázat (54. oldal):** A különböző vízmennyiséggel készített rehidratált tojáspor minták, ahol B, W, és Y a teljes tojáspor, a tojásfehérje-, valamint a tojássárgája porokból készült mintákat jelölik.
- 4. táblázat (63. oldal):** A megépített IPPE rendszerrel mért effuzivitás értékek összehasonlítása az irodalmi adatokkal.
- 5. táblázat (66. oldal):** Ismeretlen effuzivitás értékű élelmiszerek effuzivitás értéke.
- 6. táblázat (73. oldal):** Különböző fajok tojásainak effuzivitás értékei.
- 7. táblázat (74. oldal):** A tojásmintákra kapott eredmények statisztikai (F és t-próba) analízise; a szimbólumok + (fehérje), # (sárgája) és \* (tojáslé) a szignifikáns különbséget mutatják.
- 8. táblázat (77. oldal):** A friss tojás és rehidratált tojásporok effuzivitás értékeinek összehasonlítása.
- 9. táblázat (80. oldal):** Az irodalomban megtalálható adatokból számolt és a mért effuzivitás értékek összehasonlítása.

Ábrák:

- 1. ábra (35. oldal):** A PPE mérő rendszerek konfigurációinak változatai a minta valamint a szenzor vastagságának figyelembe vételével
- 2. ábra (36. oldal):** Az IPPE és SPPE detektorok sematikus ábrája
- 3. ábra (56. oldal):** Az általunk megépített inverz fotopiroelektromos mérőrendszer sematikus ábrája
- 4. ábra (57. oldal):** Az IPPE mérőrendszer detektora felüőről
- 5. ábra (60. oldal):** Desztillált víz IPPE jele a frekvencia négyzetgyökének függvényében
- 6. ábra (61. oldal):** Különböző zsírtartalmú tejföl minták amplitúdó értéke a frekvencia négyzetgyökének függésében
- 7. ábra (65. oldal):** Tejszín effuzivitás értékei a zsírtartalom függvényében. A ▲ a kereskedelmi forgalomban kapható (Tsz<sub>6a</sub>) 20%-os zsírtartalmú tejszint jelöli
- 8. ábra (66. oldal):** Tejföl minták effuzivitás értékei a zsírtartalom függvényében
- 9. ábra (67. oldal):** Ömlesztett sajt effuzivitás értékei a zsírtartalom függvényében
- 10. ábra (68. oldal):** Majonéz effuzivitásának csökkenése zsírtartalom függvényében
- 11. ábra (69. oldal):** Sertéskaraj effuzivitás értékei a zsírtartalom függvényében
- 12. ábra (71. oldal):** Bor minták effuzivitás értékének függvénye a minták glicerintartalmának függvényében

**13. ábra (72. oldal):** Repceméz minták effuzivitás értéke a hozzáadott izocukor függvényében

**14. ábra (76. oldal):** Tojásfehérje effuzivitás értékei a hozzáadott tojássárgája függésében

**15. ábra (78. oldal):** Rehidratált tojásporok effuzivitás értéke a víztartalom függvényében

### Melléklet

1. számú melléklet: A 7-15. ábra mintáinak nyers effuzivitás értékei valamint az értékek szórása

Minta	Effuzivitás	Szórás
	$W \cdot s^{1/2} \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	±
Tejszín (Tsz <sub>1</sub> )	1401	5
Tejszín (Tsz <sub>2</sub> )	1356	7
Tejszín (Tsz <sub>3</sub> )	1334	6
Tejszín (Tsz <sub>4</sub> )	1312	5
Tejszín (Tsz <sub>5</sub> )	1291	4
Tejszín (Tsz <sub>6a</sub> )	1273	9
Tejszín (Tsz <sub>6b</sub> )	1279	5
Tejszín (Tsz <sub>7</sub> )	1239	4
Tejszín (Tsz <sub>8</sub> )	1204	5
Tejszín (Tsz <sub>9</sub> )	1168	4
Tejszín (Tsz <sub>10</sub> )	1145	6
Tejszín (Tsz <sub>11</sub> )	1105	10
Tejföl (Tf <sub>1</sub> )	1623	10
Tejföl (Tf <sub>2</sub> )	1580	11
Tejföl (Tf <sub>3</sub> )	1557	8
Tejföl (Tf <sub>4</sub> )	1521	11
Tejföl (Tf <sub>5</sub> )	1488	13
Tejföl (Tf <sub>6</sub> )	1447	8
Tejföl (Tf <sub>7</sub> )	1431	10
Tejföl (Tf <sub>8</sub> )	1407	12

Minta	Effuzivitás	Szórás
	$W \cdot s^{1/2} \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	$\pm$
Ömlesztett sajt (C <sub>1</sub> )	1279	2
Ömlesztett sajt (C <sub>2</sub> )	1078	4
Ömlesztett sajt (C <sub>3</sub> )	869	3
Ömlesztett sajt (C <sub>4</sub> )	1238	5
Ömlesztett sajt (C <sub>5</sub> )	1164	1
Ömlesztett sajt (C <sub>6</sub> )	953	2
Majonéz (M <sub>1</sub> )	1502	18
Majonéz (M <sub>2</sub> )	1381	19
Majonéz (M <sub>3</sub> )	1314	4
Majonéz (M <sub>4</sub> )	1105	2
Majonéz (M <sub>5</sub> )	1063	19
Majonéz (M <sub>6</sub> )	739	6
Bor (Br <sub>1</sub> )	1553	5
Bor (Br <sub>2</sub> )	1519	5
Bor (Br <sub>3</sub> )	1506	5
Bor (Br <sub>4</sub> )	1480	10
Bor (Br <sub>5</sub> )	1418	1

Minta	Effuzivitás	Szórás
	$W \cdot s^{1/2} \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	$\pm$
Méz (Mz <sub>1</sub> )	1109	3
Méz (Mz <sub>2</sub> )	1094	3
Méz (Mz <sub>3</sub> )	1088	3
Méz (Mz <sub>4</sub> )	1078	3
Méz (Mz <sub>5</sub> )	1065	3
Tojáslé (S <sub>1</sub> )	1496	6
Tojáslé (S <sub>2</sub> )	1393	5
Tojáslé (S <sub>3</sub> )	1348	5
Tojáslé (S <sub>4</sub> )	1334	4
Tojáslé (S <sub>5</sub> )	1238	4
Tojáslé (S <sub>6</sub> )	1099	3
Teljes tojáspor (B <sub>1</sub> )	1384	4
Teljes tojáspor (B <sub>2</sub> )	996	6
Teljes tojáspor (B <sub>3</sub> )	1048	4
Teljes tojáspor (B <sub>4</sub> )	1465	5
Teljes tojáspor (B <sub>5</sub> )	1179	3
Tojásfehérje por (W <sub>1</sub> )	1487	16
Tojásfehérje por (W <sub>2</sub> )	1419	5
Tojásfehérje por (W <sub>3</sub> )	1398	4
Tojásfehérje por (W <sub>4</sub> )	1335	4
Tojásfehérje por (W <sub>5</sub> )	1330	7
Tojásfehérje por (W <sub>6</sub> )	1443	5

Minta	Effuzivitás	Szórás
	$W \cdot s^{1/2} \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	±
Tojássárgája por (Y <sub>1</sub> )	776	31
Tojássárgája por (Y <sub>2</sub> )	863	15
Tojássárgája por (Y <sub>3</sub> )	888	22
Tojássárgája por (Y <sub>4</sub> )	967	6
Tojássárgája por (Y <sub>5</sub> )	1127	3
Tojássárgája por (Y <sub>6</sub> )	1441	9
Sertéshús (Zs <sub>1</sub> )	1225	12
Sertéshús (Zs <sub>2</sub> )	1150	52
Sertéshús (Zs <sub>3</sub> )	1081	58
Sertéshús (Zs <sub>4</sub> )	981	5
Sertéshús (Zs <sub>5</sub> )	909	14
Sertéshús (Zs <sub>6</sub> )	687	9
Sertéshús (Zs <sub>7</sub> )	650	10
Sertéshús (Zs <sub>8</sub> )	638	9
Sertéshús (Zs <sub>9</sub> )	591	9

2. számú melléklet: Abstract

### **Determination of thermal effusivity of foods by photopyroelectric method**

#### Abstract

Photopyroelectric (PPE) methods are capable to measure thermal properties (diffusivity, effusivity) of foods in a relatively fast and simple way. The first objective of the study is to determine thermal effusivity of different foods (with not known effusivity value). The second objective was to determine the effusivity value versus the fat, protein or carbohydrate content by means of the inverse photopyroelectric (IPPE) method.

The IPPE measurements were conducted using a home-made experimental set-up.

The effusivity appears to be strongly influenced by the amount of water and fat present in the product. The high fat content decreases the effusivity, while the effusivity of water rich products approximates the effusivity of a pure water. The observed relationship between the effusivity and the fat, protein or carbohydrate content is linear.