



A kép illusztráció / Picture is for illustration only

Bozi János¹, Szabó S. András¹, Izsák Margit¹, Tiszáné Kósa Eszter Imola¹, Szabó Gergely Levente²

Érkezett: 2015. augusztus – Elfogadva: 2015. december

Diákok kémia-, biológia- és fizikaoktatása élelmiszer-vizsgálati kísérletek segítségével

1. Összefoglalás

A fizika, biológia és kémia iskolai oktatásában a kísérleteknek meghatározó jelentősége van. A diákok nagyon szívesen veszik, ha a kísérletek anyaga az általuk is jól ismert valamilyen élelmiszer. Jelen munkánkban tíz egyszerű, fizikai, kémiai és biológiai jellegű kísérletet írunk le. A vizsgált, illetve a kísérletek során felhasznált élelmiszerek: alma, almalé, burgonya, citrom, citromlé, ecet, ételfesték, konyhasó, növényi olaj, répacukor, sütőpor, szódabikarbóna, zselatin.

2. Bevezetés

Előző cikkünkben [1] leírtuk, hogy meggyőződésünk szerint a természettudományos tárgyak oktatásában meghatározó szerepe van a kísérletek bemutatásának. Ha a kémiai, biológiai és fizikai kísérletek – e tantárgyak között természetesen nincs éles határ – meghatározó részét képezik az oktatásnak, akkor a gyakorlati életből vett példákkal, feladatokkal a tanulók jelentős részének érdeklődését valószínűleg jobban fel lehet kelteni e tudományágak iránt. Kísérletek bemutatásával, azaz szemléltetéssel remélhetőleg eredményesebb, hatékonyabb lesz az oktatásunk. Bízhatunk abban, hogy a tanulók tudásanyaga bővül, logikai készsége a megfigyelésekből levonható következtetések által is fejlődik, javul. Az viszont biztos, hogy a diákok nagyobb kedvvel vesznek részt a kísérleteket is bemutató órákon, s ezáltal talán szívesebben foglalkoznak az adott tárgy ismeretanyagával is [2], [3], [4], [5].

Marx György gondolatát idézve a természettudományos tárgyak kapcsolatát illetően [6] megemlítenénk, hogy bár a fizika, kémia, biológia tradicionális határainak tanítása alkalmas tájékoztatásul szolgálhatott a skolasztikus gondolkodású évszázadokban, de ez a múlt. Száz éve még felparcellázva szemlélték a természetet, s ezt a részekre szabdaltságot őrzik ma is az

iskolai órarend rubrikái. Viszont ma már inkább egyes számban használatos a természettudomány szó, s éppen a tudományokban a fejlődést jellemző két irány – differenciálódás és integrálódás – szintézise teremtette meg például a biofizika, biomechanika, agrofizika, élelmiszerfizika, élelmiszerkémia, biokémia, agrokémia, radioökológia, ökokémia szakterületeit, egyértelműen mutatva és bizonyítva a lényegi összefonódást és a világ anyagi egységét [7], [8], [9], [10].

Az Élelmiszervizsgálati Közlemények 2015. évi 2. számában megjelentetett dolgozatunkban bemutattunk tíz kísérletet, amelyek közül 5 inkább fizikai, 4 inkább kémiai s egy biológiai jellegű volt. A következőkben ismét tíz egyszerű, továbbra is az élelmiszervizsgálatokhoz kapcsolódó kísérletet mutatunk be (írunk le), amelyek különösebb nehézség nélkül elvégezhetők egy közepesen felszerelt, fizikai, biológiai és kémiai kísérletek lefolytatására alkalmas iskolai laboratóriumban. A tizből 4-4 fizikai, ill. kémiai jellegűnek tekinthető, kettő pedig inkább a biológiához sorolható. Hangsúlyozzuk, hogy valamennyi kísérlet bemutatása előtt fel kell hívnunk a figyelmet a munka- és balesetvédelmi szabályokra, valamint a kísérletek értékelése során a legfontosabb általános érvényű természettudományos törvények alkalmazására és azok érvényességére.

¹ Budapesti Ward Mária Általános Iskola, Gimnázium és Zeneművészeti Szakközépiskola 1056 Budapest, Irányi utca 3.

² Budapest Műszaki Szakképzési Centrum, Petrik Lajos Két Tanítási Nyelvű Vegyipari, Környezetvédelmi és Informatikai Szakközépiskola 1146 Budapest, Thököly út 48-54

3. A javasolt fizikai, biológiai és kémiai jellegű kísérletek leírása

3.1. Galvánelem létrehozása mezőgazdasági termékekkel

Luigi Galvani (1737-1798) és Alessandro Volta (1745-1827) olasz természettudósoknak köszönhetően már több mint 200 éve ismert az ún. galvánelem, amely áramforrásként vált ismertté. A lényeg annak, hogy ha 2 különböző fém savas, lúgos vagy sós, azaz ionokat tartalmazó oldatba merül, akkor közöttük feszültségkülönbség jön létre. Hogy mekkora ez a feszültségkülönbség az az elektródpotenciálokból számítható, erre utal a Volta-féle feszültségi sor. Nagyságrendileg 1 V körüli feszültségről beszélhetünk.

Kísérleti berendezésünk – azaz a galvánelem – előállítására rendkívül egyszerű, szúrjunk bele egy almába, citromba vagy burgonyába ellentétes oldalon egy-egy réz- és cinklemez (ez a 2 elektród) s zárjuk az áramkört. A létrejövő potenciált mérhetjük voltmérővel, az áramot ampermérővel vagy pedig egy apró zseblámpaizzó közbeiktatásával kivívhatjuk a diákok lelkes elismerését is azzal, hogy egy zöldségből, vagy gyümölcsből működő fényforrást „állítottunk elő”.

A kísérletek megvalósítása során a diákok figyelmét a következőkre célszerű felhívni:

- A burgonya, a citrom, az alma itt elektrolitként szerepel, azaz olyan oldatként, amelyben ionok (kationok és anionok) vannak. Kérdezzük meg a diákokat, hogy milyen ionok jelenléte várható ezekben az élelmiszerekben (a jobbkat biztosan említeni fogják pl. a káliumot és kalciumot a kationok, a kloridot, citrátot és foszfátot az anionok közül).
- E nyers élelmiszer-elektrolitok víztartalma kb. a következő: burgonya – 76%, alma – 90%, citrom – 89%. Az ásványianyag-tartalom (lényegében a hamutartalom) pedig a következő: burgonya – 1.1%, alma – 0.4%, citrom – 0.6%.
- Tegyük fel a kérdést: befolyásolja-e a kapott feszültségértéket az, hogy milyen termékbe (élelmiszerbe) szúrtuk az elektródokat, azaz például körte vagy narancs esetében változna-e a feszültség?
- Ha van idő, a kísérletet más fémekkel (pl. vas, ezüst, alumínium) is elvégezhetjük, rámutatva az elektródpotenciálok közötti különbségre s ebből adódóan a kialakuló feszültségértékek közötti eltérésre.
- Feltétlenül említsük meg, hogy több galvánelem sorba kötésével növelhető a kapott feszültség.

3.2. Cukorkoncentráció meghatározás sűrűségméréssel

Készítsünk répacukorból (szacharóz) 10, 20 és 30%-os oldatokat – vagy esetleg 10g/100 ml, 20g/100 ml és 30g/100 ml cukoroldatokat – és könnyen kivitelezhető, de eléggé precíz módon, piknométerrel mérjük meg ezen oldatok sűrűségét. Tapasztalni fogjuk, hogy a 10%-os oldatnál kb. 1,04 g/cm³, a 20%-osnál 1,08 g/cm³, a 30%-osnál mintegy 1,12 g/cm³ lesz a mért sűrűség. Tehát a koncentráció és a sűrűség között szoros összefüggés van, egyszerű fizikai méréssel, kémiai meghatározás nélkül is nyomon lehet követni a cukorkoncentráció változását. Mutassunk rá a következőkre:

- Ismeretlen cukorkoncentráció táblázatos adatok ismeretében (pl. Vegyészek zsebkönyve vagy internet) vagy kalibrációs görbe felvételének módszerével határozható meg.
- A sűrűségméréses meghatározási módszer elvileg csak a biner (kétkomponensű) rendszerekre alkalmazható, de elég sokféle élelmiszer van, amikor a vízen kívül igazából csak egy domináns komponens van jelen, ezáltal az eljárás rutinszerűen, elfogadható pontossággal jól felhasználható, például a must cukorfokának mérése vagy száraz borok alkoholtartalmának meghatározása sűrűségmérés alapján.
- Más, a répacukortól eltérő komponens esetén természetesen a sűrűségértékek azonos koncentráció esetén is eltérnek, így pl. konyhasó (NaCl) esetében a 10%-os oldatnál kb. 1,07 g/cm³, a 20%-osnál 1,15 g/cm³ lesz a mért sűrűség.
- Nagyon kis mértékben a vizsgált oldatok sűrűségét természetesen a hőfok is befolyásolja – a táblázatos adatok általában 20 °C-ra vonatkoznak – de a 15 és 20 °C hőmérsékleten mért 20%-os cukoroldat sűrűségeiben található eltérés – 1,08233 ill. 1,08094 g/cm³ – elhanyagolható, amely a mérési hibán belüli értéknek tekinthető.
- Cukortartalom mérésére más fizikai és kémiai analitikai technikák is ismeretesek, ilyen pl. a polarimetriás vizsgálat, amely optikailag aktív anyagok (a cukor ilyen) esetében alkalmazható, ilyenkor a poláros fény rezgési síkjának elfordulását mérjük, és ebből következtetünk a koncentrációra. De jól ismert, egyszerű eljárás a refraktometriás módszer is, amelynek alkalmazásával törésmutatót mérünk.

3.3. A pH mérése kézi pH-mérővel, elektroanalitikai eljárással

A korábban említett, előző cikkünkben már esett szó a pH-mérésről, amelyet nem elektroanalitikai eljárással végeztünk, hanem univerzális illetve finomskálás

pH-papír alkalmazásával. Az elektrometriás mérés alapja a Nernst- egyenlet, amely híg oldatok esetében összefüggést ad az oldatba merülő elektród potenciálja és a hidrogénion-koncentráció között [11]. Lényegében az üvegelektrodos mérés technika (kézi pH-mérő üvegelektroddal) direkt potenciometriának tekinthető [12].

A digitális kijelzésű pH-mérő 0,1 pH érték pontossággal szolgáltat adatokat, a mérés viszonylag egyszerűen elvégezhető az üvegelektrod desztillált vizes lemosását és a 7-es pH-jú pufferoldattal történő kalibrálást követően. Miután a műszer mérési tartománya 14 nagyságrendet fog át – 0 és 14 pH érték között használható – a legkülönbözőbb és igen nagy pH-érték különbséget mutató anyagok, italok mérésére is alkalmas, mint például gyümölcslevek, gyümölcszörpök, ásványvizek vagy akár sütőpor, szódadikarbóna vizes oldatának vizsgálatára is. Csinaljunk két mérési sorozatot, az elsőnél mérjük meg 10 alkalommal ugyanazon gyümölcsléből vett minta pH-értékét, és nézzük meg, hogy van-e eltérés a mért adatok között, amelyeket a membránelektrodos mérőműszer 0,1 pH érték pontossággal szolgáltat. Másodszor pedig készítsünk a vizsgált oldatból többszörös és azonos mértékű hígítással sorozatot, majd nézzük meg, milyen mértékben változik a mért pH-érték. Próbáljuk meg a diákokat rávezetni arra, hogy megfejték: az azonos arányú hígítást követően miért lesz egyre kisebb mértékű a pH változása (jelen esetben ez a változás növekedést jelent).

A fentebb leírtakkal kapcsolatban a következő szempontokra érdemes a diákok figyelmét felhívni: mutassunk rá a mérési adatok értékelésénél a pontosság és a reprodukálhatóság közötti összefüggésre ill. különbségre!

- Említsük meg, hogy az élelmiszerek és italok titrálható savtartalma (ez gyakran minősítési tényező!) és a mérhető pH-érték között összefüggés van [13], az adott mintacsoportnál a pH-érték alapján pedig jó közelítéssel becsülhető a titrálható savtartalom.
- Beszéljük meg a diákokkal, hogy van-e értelme a pH-értéket egy tizedesnél nagyobb pontossággal megadni, s ha nincs, miért nincs.

3.4. Ételfesték színének eltüntetése aktív szénrel

Az aktív szén nagy fajlagos felülettel rendelkező mikropórusos anyag. 1 gramm aktív szén akár 500 m²-es fajlagos felülettel is rendelkezhet. Az aktív szén nagy fajlagos felületén számos vegyület képes megkötődni (adszorbeálódni), aminek következtében számos alkalmazási területe van. Felhasználják többek között gázok és gázkeverékek tisztítására (pl. légszűrőkben, maszkokban), víztisztításra és a gyógyászatban is, de alkalmazásának az élelmiszeriparban is nagy jelentősége van. Felhasználható pl. a koffeinmentes kávék készítéséhez és a borok színének javítására. Az aktív szén felületi megkötőképessége jól szemléltethető a következő kísérlettel.

Főzőpohárba helyezett aktív szénhez (por vagy tableta is lehet) öntsünk kevés ételfestékoldatot, pl. azorubin (E122) tartalmú piros élelmiszer-színezék híg vizes oldatát. Az elegyet rövid ideig kevergessük, majd öntsük egy kémcső fölé rögzített, szűrőpapírral ellátott tölcserbe. A szűrlet és az eredeti festékoldat színét összehasonlítva a két oldat közötti színkülönbség nagyon jól látható, a szűrlet ugyanis színtelen. A szűrlet színtelensége azzal magyarázható, hogy az aktív szén nagy felülete megköti, adszorbeálja az ételfesték-oldat szerves színanyagait.



A kísérlet során célszerű felhívni a tanulók figyelmét arra, hogy az aktív szénen történő adszorpció gyenge, másodrendű kölcsönhatás. Ennek egyik bizonyítéka, hogy jól megválasztott szerves oldószer segítségével a színyanyag leoldható az adszorbens felületéről.

Ugyancsak érdemes megemlíteni, hogy az adszorpció (megkötődés) nem összekeverendő az abszorpcióval (elnyelődés) jelenségével.

Ételfesték helyett természetesen próbálkozhatunk vörösbor, gyümölcscsörp vagy pl. gyümölcstea színyanyagának megkötésével is, a kísérlet bemutatása előtt azonban minden esetben javasoljuk az aktív-szén és a színes oldatok mennyiségének optimalizálásának elvégzését.

3.5. A zöld ételszínezék szinkomponenseinek elválasztása

Kémiából tananyag a keverékek elválasztása, tehát a diákok megismerkedhetnek többek között az üleptetés, a szűrés, a bepárlás, a kristályosítás és a desztillálás legfontosabb jellemzőivel. Bár a modern kémiai szeparációs módszerek között kiemelkedő szerepet töltenek be a kromatográfiás elválasztási technikák, ezekről még a gimnáziumi tananyagban is csak nagyon kevés szó esik. Egy nagyon egyszerű kísérlettel szemléltethető a módszer lényege és fontossága. A tanulók ugyanis elég könnyen választ adnak arra a kérdésre, hogy hogyan választható el egymástól pl. a cukor és a homok, a só és a vas, de ki merne vállalkozni arra, hogy elválassza egymástól a zöld ételfesték kék és sárga színű komponenseit? Pedig nem is olyan nagy ördögösség ez a „trükk”, csak egy egyszerű papírkromatográfiás elválasztás.

A kék és sárga ételfestékekből cseppentsünk néhány cseppet egy óraüvegre, majd keverjük össze azokat. Így kapjuk a zöld színű oldatot. Húzzunk vonalzóval egy halvány vízszintes vonalat egy szűrőpapíron. Erre a vonalra (startvonal) cseppentsük fel a kétkomponensű oldatot. Helyezzük a papírt egy vizet tartalmazó üvegedénybe, majd tegyük fedelelet az edényre. Figyelnünk kell arra, hogy a vízszint ne érje el a szűrőpapíron húzott startvonalat. A szűrőpapíron felfelé áramló víz (ún. eluens, vagy mozgó fázis) magával viszi az elválasztandó színyanyagokat, amelyek a szűrőpapíron (álló fázison) felfelé haladva fokozatosan elválnak egymástól (a vizsgálatnak van időszükséglete).

A jelenség magyarázata az, hogy a különböző színyanyagok különböző erősséggel kötődnek a szűrőpapír felületéhez. Így a szűrőpapíron felfelé áramló víz más-más távolságra viszi azokat. Összehasonlításként: a kék és sárga ételfestékeket is felvihetünk egy-egy szűrőpapírcsíkra. A kísérlet vékonyréteg-kromatográfiás (VRK) állófázissal még szemléletesebb.

Említsük meg a diákoknak, hogy a VRK technikát – az angol szaknyelv alapján – TLC (Thin Layer Chromatography) rövidítéssel is jelölik.



3.6. Kémiai „jojó”

A kémiai „jojó” szemléletes, igazi „konyhakíséret”, amely az oldódás és a sav-bázis reakciók témaköréhez kapcsolódóan egyaránt könnyen és gyorsan elvégezhető [14].

A kísérletet úgy végezzük, hogy egy főzőpohárba sütőport (vagy szódadikarbónát) teszünk, majd a tetejére óvatosan olajat öntjük. Ezt követően egy kis főzőpohárban lévő ételcsepphez kevés piros ételszínezéket cseppentünk, majd az így kapott piros színű oldatból egy cseppentő segítségével kis cseppeket juttatunk az olajjal töltött pohárba.

A kísérlet során a piros színű ecetcseppecskék először lesüllyednek a pohár aljára, a sütőporral érintkeznek, majd felemelkednek az olaj tetejére. Az ecetcseppek többszöri lesüllyedése és felemelkedése tényleg a jojó mozgására emlékeztet.

A kísérlet tapasztalatainak magyarázata az, hogy az ecet nem oldódik olajban, ezért az ecet kis cseppekben marad. Az ecet ugyanakkor nagyobb sűrűségű, mint az olaj, így a kis gömbök lesüllyednek a főzőpohár aljára. Amikor hozzáérnek a sütőporhoz, az ecet reakcióba lép a sütőporban lévő nátrium-hidrogénkarbonáttal. A reakció során szén-dioxid fejlődik, amely felemeli a cseppeket az olaj tetejéig. Az olaj felszínén a szén-dioxid eltávozik az ecetcseppről, így az ismét süllyedni kezd.

3.7. Ozmózis vizsgálata burgonyával

Ozmózis során az oldószer (általában víz) diffúziója történik féligáteresztő hártán (membránon) keresztül a kisebb koncentrációjú oldat felől a nagyobb felé. A féligáteresztő hárták olyan résekkel rendelkeznek, amelyek csak bizonyos mérethatár alatti részecskéket engednek át. Ez azt eredményezi, hogy a hártya a nagyobb molekulák diffúzióját akadályozza, a kisebbekét (itt víz) viszont nem. Az ozmózisnyomás az a nyomás, amelyet az oldatra kell kifejteni ahhoz, hogy dinamikus egyensúly jöjjön létre (vagyis megakadályozzuk az ozmózist) a tiszta oldószerral szemben. Ha egy oldat ozmotikus nyomása nagyobb, mint egy másiké, akkor ez azt is jelenti, hogy nagyobb benne az oldott részecskék koncentrációja.

Az ozmózis jelenségének kísérleti megfigyelése során hámozatlan burgonyába mély lyukat vájunk, amit konyhasóval töltünk föl. A burgonyagumót egy akkora lombik szájába állítjuk, amelyikbe éppen belefér, de nem esik bele. Az a tapasztalat, hogy néhány óra (esetleg egy nap) elteltével a burgonyagumó térfogata annyira lecsökkent, hogy beleesett a lombikba, s közben üregéből sóoldat folyt ki. A jelenség magyarázata az, hogy a burgonyagumó alapszöveti sejtjeinek sejthártyája féligáteresztő tulajdonságú. A sejteken kívüli térbe helyezett nagy koncentrációjú NaCl oldat vagy NaCl kristályok hatására megindul a sejtek

A kép illusztráció / Picture is for illustration only

víz tartalmának kiáramlása. Az alapszöveti sejtek a vízvesztés hatására zsugorodni kezdenek, ezáltal a gumó térfogata csökken.

Célszerű a tanulók figyelmét felhívni arra, hogy hasonló, az ozmózisra alapuló jelenség az is, amikor az érett cseresznye- vagy meggyeszemek eső hatására felrepednek, mivel a magas cukortartalmú belső térbe (a sejtekbe) víz áramlik be a sejtfalakon keresztül, s a túlnyomás felszakítja a membránt. Az ozmózis jelenségének fordítottját – reverz ozmózis, (RO) – pedig széleskörűen használják az élelmiszeriparban gyümölcs- és zöldséglevelek besűrítésére.

3.8. Fehérjekolloidok szol-gél állapotának vizsgálata

A szol-gél állapot vizsgálatára zselatint használunk. A zselatin (a francia *gélatine*-ből) egy áttetsző, színtelen, csaknem íztelen szilárd anyag, amelyet az állatok kötőszövetéből kivont kollagén irreverzibilis hidrolízisével állítanak elő. Fehérjetartalma mintegy 98%, a fehérje alacsony biológiai értékű, elsősorban glicint, prolint, hidroxiprolint és glutaminsavat, azaz nem esszenciális aminosavakat tartalmaz. Az élelmiszeriparban, a gyógyszeriparban, sőt a kozmetikumokban is széles körben alkalmazzák. Általában a zselatin tartalmú, vagy hasonló állagú anyagokat is zselatinnak nevezik. Élelmiszerekben E441 néven emulgeálószerként, valamint zselésítő anyagként használják.

Kb. 10 g zselatint (fehérje) mintegy 60 ml desztillált vízzel fölmelegítünk, majd egy-egy kémcsőbe kevés zselatinoldatot töltünk. Szobahőmérsékletre hűtve megfigyelhetjük a gél állapotú anyagot, majd meleg vízben felmelegítve látható, ahogyan a gél szollá válik. Lehűtve ismét gél állapotú lesz (megkocsonyásodik).

A jelenség magyarázata, hogy meleg hatására a vízmolekulák hőmozgása gyorsul, ezért kisebb lesz a hidrárburok a zselatin részecskéi körül. Tehát nő a szabad víz mennyisége, azaz a zselatin-víz elegy szol (oldat) állapotú lesz. Hűtés hatására a hidrárburokba rendezett víz mennyisége nő, a nagy hidrárburok összekapcsolódnak, s a kolloid oldat gél állapotú lesz, azaz félfolyékony, formatartó állapot, kocsonyás állag alakul ki. Egyébként a biológiai rendszerek működésének s gyakran a különböző élelmiszeripari ill. ételkészítési technológiáknak is a szol-gél állapot kialakulása/változása az alapja.

3.9. Gyümölcs keménységének vizsgálata

Napi tapasztalat, hogy a gyümölcsök minősége illetve eltarthatósága szoros összefüggésben van azok keménységével. Mivel jelenleg már minden évszakban vásárolható szinte mindenfajta gyümölcs, így a mérés a tetszőlegesen választott gyümölccsel a tanév során bármikor elvégezhető. Persze érdemes egyfajta gyümölcsöt választani és annak különböző keménységű változatait vizsgálni. Mi a tanulókkal jonagold almát vizsgáltunk.

A keménységvizsgálathoz egy nem túl bonyolult mérőeszközt kell összeállítani: egy mikrofont egy fadozobba tenni, aminek a tetején kör alakú nyílás van, amire könnyű, puha, lyukacsos szerkezetű borítást teszünk, hogy biztosítható legyen a gyümölcs szabad rezgése. Erre helyezzük rá a vizsgálni kívánt gyümölcsöt. A gyümölcsöt egyszerűen meg kell ütni egy pálcával – gerjesztés - ezáltal hangrezgés keletkezik benne, aminek regisztrálását végzi a mikrofon. (A mikrofont számítógéphez csatlakoztatva egy hang-kiértékelő programmal meg lehet határozni a keletkezett hangrezgés jellemző frekvenciáját.) Fontos, hogy a regisztrált hangrezgés a gyümölcsben keletkezett rezgés legyen, ne a levegőben hallható hang [15].

A keménység azt mutatja meg, hogy mekkora erő hatására mekkora benyomódás jön létre a vizsgált objektumon. Tehát N/m mértékegységű. Könnyű belátni, hogy ugyanezt kapjuk akkor is, ha a vizsgált minta tömegét és a mért frekvencia négyzetét összeszorozzuk:

$$\frac{N}{m} = \frac{kg \cdot \frac{m}{s^2}}{m} = kg \cdot \frac{1}{s^2}.$$

Nincs tehát más teendő, mint a mérés során a gyümölcs tömegét illetve a keltett hangrezgés frekvenciáját meghatározni.

A diákoknak már az is fontos lehet, hogy benyomódás és erőmérés helyett tömeget és frekvenciát is lehet mérni, vagyis ezáltal a fizikai mennyiségek közötti összefüggések fontosságára is felhívjuk a figyelmet. Továbbá talán nem árt azt is hangsúlyozni, hogy mennyire fontos, hogy az élelmiszerek (jelen esetben gyümölcsök) vizsgálatánál lehetőleg roncsolásmentes eljárást tudjunk találni. A szakmában természetesen jól ismert a reológiai és texturális vizsgálatok elvégzésére szolgáló az INSTRON berendezés vagy a fruktométer, de ezekkel valószínűleg a középiskolai laboratóriumok nem rendelkeznek. Az ismertetett mérés technika zöldség- és főzelékféléknél (pl. paradicsom) is jól alkalmazható.

Egyébként, ha az adott gyümölcsmintákon több napon keresztül végeznek a tanulók méréseket, össze tudnak állítani egy „sorozatot”, amely alapján az adott gyümölcs fajtájáról eldönthető, hogy hány napos lehet a termék, és meg is lehet becsülni, hogy mennyi ideig tartható el az adott tárolási körülmények (hőmérséklet, a levegő relatív nedvességtartalma) között.

3.10. Elektrolitoldatok vezetőképességének vizsgálata

Az elektromos árammal kapcsolatos tanulmányok idején – a 8. és 10. osztályban – érdemes részletesebben kitérni a fizikaórákon nem csupán a fémek vezetési tulajdonságaira, hanem azzal egyidejűleg az



A kép illusztráció / Picture is for illustration only

elektrolitok vezetőképességére is. Néhány egyszerű kísérlettel bemutatható, hogy az elektrolit oldatok (pl. víz, ásványvíz, tea, kávé, gyümölcslé, üdítőital) ellenállása ill. vezetőképessége – a vezetőképesség az ellenállás reciproka – függ:

- az elektrolit oldatban lévő ionok mennyiségétől, ill. koncentrációjától
- a fémes vezetőkhöz hasonlóan az oldat „geometriájától”
- az oldat hőmérsékletétől

Az első, igen egyszerű kísérletet annak igazolására is elvégezhetjük, hogy a csapvíz nem, illetve csak nagyon kis mértékben vezet az elektromos áramot, konyhasóval készített oldatban viszont látványosan nő a vezetőképesség. Ehhez elegendő egy kis főzőpohárba csapvizet önteni, amelybe szén elektródákat merítünk. Az áramkörbe áramforrásként egy zsebtelepet iktathatunk. Az elektróda-zsebtelep-áramkört

egy sorbakapcsolt izzólámpával zárhatjuk. Amíg a főzőpohárban tiszta csapvíz lesz, az izzó nem világít, ahogyan azonban a vizet sózni kezdjük, a sorbakapcsolt izzó egyre fényesebben fog izzani.

A második kísérlethez ugyanezekre az eszközökre van szükségünk. Itt annyit mutatunk meg, hogy ha a szén elektródákat jobban belemerítjük az elektrolitoldatba (maradjunk a konyhasó vizes oldatánál, de természetesen más, ionokat tartalmazó folyadék is használható), akkor az izzó fényesebben izzik, ha kevésbé, akkor a fényerő is kisebb.

A harmadik kísérletnél szintén az eddigi összeállítást alkalmazzuk, csak egyszerre két, de azonos koncentrációjú oldattal mérünk. Az egyik oldatot melegítjük, amíg jelentős különbség lesz a hőmérsékletek között. Ekkor merítjük be a főzőpohárba a szén elektródákat. A tapasztalat most azt mutatja, hogy a melegvizes konyhasó-oldat vezet jobban az áramot.



A kép illusztráció / Picture is for illustration only

A kísérletből leszűrhető tapasztalatok:

- Az elektrolitoldat koncentrációjának növelésével nő az elektromos vezetőképesség is, de utalnunk kell arra, hogy ez nem fokozható egy bizonyos határkoncentráción túl. Nagyobb töménység esetén ugyanis nem nő tovább a vezetőképesség, mert az ionok sűrűségének növekedésével az ellentétes töltésű ionok közötti vonzóerő is számottevő lesz.
- Az elsőrendű vezetőkhoz (fémek) hasonlóan nagyobb keresztmetszet esetén nagyobb a vezetőképesség is. (Egy komolyabb, kvantitatív adatokat szolgáltatató kísérlettel egyébként az egyenes arányosság is kimutatható.)
- A hőfok növelésével nő a vezetőképesség az elektrolitokban. Ez ellentétes a fémek esetében tapasztalható ténnyel. Rámutathatunk az okra is, ugyanis az elektrolitoknál a vezetőképesség az ionok koncentrációján túl azok mozgékonyságával is összefügg, ez utóbbi viszont a hőmérséklet emelésével nő.

Végezetül kiemelhető, hogy a konduktometriás mérés az élelmiszeranalitikában, ill. minőségellenőrzésben számos területen használatos mérés technika. Így pl. alkalmas a kifőzött kávé minőségének ellenőrzésére, például arra, hogy a vendéglátóhelyen felszolgált kávé nem zaccból készítették-e? Ugyancsak létezik konduktometriás módszer a cukor hamutartalmának mérésére is. Ezen túlmenően, konduktometriás titrálással a szénsavtartalmú italok CO_2 tartalmának meghatározása is elvégezhető [16], [17]. Egyébként az élelmiszeripari technológiákban felhasznált víz jellemzésére – utalva az ásványi anyagtartalomra – ugyancsak használatos a mikrosiemens (μS) egységben megadott vezetőképességi érték.

4. Következtetés

Úgy gondoljuk, hogy a leírt tíz egyszerű, az élelmiszerek vizsgálatán, ill. a jelenségek élelmiszereken való alkalmazásán alapuló fizikai, biológiai és kémiai kísérlet, mérések elvégzése, a tanórákon történő bemutatása hatékonyan segíti a diákok felkészülését a tárgyakban. Az ok-oksági összefüggések experimentális bemutatása által javítja logikai készségüket is. Azzal, hogy a kísérleteket élelmiszerekkel, azaz a köznapi életben mindenki számára ismert anyagokkal végezzük, hasznos információkat közvetítünk a diákok számára az élelmiszerekről is. Ezáltal remélhetően sikerül felkelteni az érdeklődésüket az élelmiszeripar valamint az élelmiszer- és táplálkozás-tudomány különböző területei (pl. élelmiszerkémia, élelmiszer-minősítés, élelmiszerfizika, táplálkozás-biológia, élelmiszeripari technológia) iránt is.

5. Irodalom

- [1] Szabó, S. A., Izsák, M.; Bozi, J. (2015): Általános - és középiskolás diákok kémia- és fizikaoktatása élelmiszer-vizsgálati kísérletek segítségével. (Teaching of chemistry and physics in elementary and high schools with help of food science experiments. Élelmiszer-vizsg. Közl., (J. Food Investigation), 61 (2), 647-656., 2015.
- [2] Rózsahegyi, M., Wajand, J. (1999): Látványos kémiai kísérletek. Mozaik Oktatási Stúdió, Szeged, 1999, p. 272.
- [3] Öveges, J. (2008): Kísérletezzünk és gondolkozzunk! Móra Kiadó., 2008.
- [4] Z. Orbán, E. (2009): Szerves kémia. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest., 2009.
- [5] Tóth, Z., Ludányi, L. (2010): Kémia. Út a tudáshoz. Maxim Könyvkiadó, Szeged., 2010.
- [6] Marx, Gy. (1979): Jövődőben. Egy fizikus írásai az iskoláról. Magvető Kiadó, Gyorsuló idő sorozat, Budapest-
- [7] Papp, S., Kümmel, R. (1992): Környezeti kémia. Tankönyvkiadó, Budapest.
- [8] Szabo, S. A. (1993): Radioecology and environmental protection. Ellis Horwood Ltd., Chichester, UK.
- [9] Szabo, S. A. (1999): Food physics as an important part of food science and applied physics. Int. Agrophysics, 13(4) p. 407-409.
- [10] Szabó, S. A., Tolnay, P. (2014): Differenciálódás és integrálódás a tudományokban. Magyar Sporttud. Szemle, 15(1) p. 75-80.
- [11] Lásztity, R., Törley, D.(szerk) (1987): Az élelmiszeranalitika elméleti alapjai. Mezőgazd. Kiadó, Budapest.
- [12] Gasztonyi, K.(szerk.) (1988): Műszeres analízis. Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem, Élelmiszeripari Kar, Budapest.
- [13] Szabo, S. A. (1980): Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen pH-Wert und Azidität in Fruchtsirup und im Saft konservierter Gurken. Lebensmittellind., 27 (8) p. 361-363.
- [14] <http://gyereketeto.hu/tanulas/otletek-szundore-5-nap-kemiai-jojo> (Hozzáférés: 2015. szeptember)
- [15] Felföldi, J. (1996): Firmness assessment of fruits and vegetables based on acoustic parameters. J. Food Physics, p. 39-47.
- [16] Szabó, S. A., Bende, E., Hajós, P. (1973): Új módszer sörök és üdítőitalok széndioxid tartalmának meghatározására. Élelmiszer-vizsg. Közl., 19 (5) p. 249-256-
- [17] Szabó, S. A., Bende, E. (1975): Konduktometrische Bestimmung des Kohlenstoffsgehalts von Getränken. Lebensmitt. Ind., 22 (3) p. 127-128.

János Bozi¹, András S. Szabó¹, Margit Izsák¹, Eszter Imola Tisza-Kósa¹,
Gergely Levente Szabó²

Received: 2015. August – Accepted: 2015. December

Teaching chemistry, biology and physics with the help of food analytical experiments

1. Summary

Experiments are of particular importance in the school education of physics, biology and chemistry. Students welcome gladly if the subject of an experiment is some kind of food, well-known to them. In the current work, ten simple experiments of physical, chemical and biological nature are described. The foods analyzed or used in the experiments are apples, apple juice, potatoes, lemons, lemon juice, vinegar, food coloring, table salt, vegetable oil, beet sugar, baking powder, baking soda and gelatin.

2. Introduction

In our previous article [1] we wrote that, in our opinion, presenting experiments has a particular importance in the teaching of natural science subjects. If chemistry, biology and physics experiments – and, of course, there is no sharp dividing line between these subjects – form a major part of the education then, in all likelihood, it will be easier to arouse the interest of the majority of students in these subjects with practical real-life examples. By presenting experiments, i.e., by demonstration, our teaching will hopefully be more effective and more efficient. We can be confident that the knowledge of the students will expand and their logical thinking will develop and improve by forming conclusions from the observations. What is certain is that students participate more eagerly in lectures demonstrating experiments and so they might be more inclined to study the given subject [2], [3], [4], [5].

To quote the thoughts of György Marx on the relationship between natural science subjects [6] it should be noted that although teaching of the traditional boundaries of physics, chemistry and biology could serve as suitable information in the centuries of scholastic thinking, but this is the past. One hundred years ago nature was viewed as separate plots, and this division is maintained today by the cells of the school timetable. However, today the expression natural science is mainly used in the singular, and it was especially in science that the special areas of, for example, biophysics, biomechanics, agrophysics, food phys-

ics, food chemistry, biochemistry, agrochemistry, radioecology and ecochemistry were established by the synthesis of the two directions characterizing development, differentiation and integration, demonstrating and proving clearly the substantial concentration and the material unity of the world [7], [8], [9], [10].

In our paper published in the 2nd issue of 2015 of the Journal of Food Investigations, we already described ten experiments, 5 of which were more physics in nature, 4 were chemistry and 1 biology. In the following, another ten simple experiments related to food analysis are presented (described) which can be carried out without much difficulty in a moderately equipped school laboratory suitable for performing physical, biological and chemical experiments. 4 each of the ten can be considered physical and chemical in nature, while two can be classified as biological. We emphasize that attention should be called to observing occupational safety and accident prevention regulations before performing each experiment, and also to the application of the most important scientific laws and their validity during the evaluation of the experiments.

3. Description of the recommended physical, biological and chemical experiments

3.1. Creation of a galvanic cell using agricultural products

Thanks to the Italian natural scientists Luigi Galvani (1737-1798) and Alessandro Volta (1745-1827), the so-called galvanic cell, a source of electricity, has

1 Ward Mária Elementary School, High School and Music Vocational School of Budapest 1056 Budapest, Irányi utca 3

2 Budapest Technical Vocational Center, Lajos Petrik Bilingual Chemical, Environmental and Information Technology Vocational School 1146 Budapest, Thökölly út 48-54

been known for over 200 years. The important finding was the realization of the principle that if two different metals are immersed in acidic or alkaline solution, or in solutions containing salts/ions, then there will be a difference in potential between them. Just how big this potential difference will be can be calculated from the electrode potentials which are related to the Volta electrochemical series. Here we are talking about voltages of roughly 1 V.

Preparation of our experimental equipment – i.e., the galvanic cell – is very simple, a copper and a zinc plate (these are the two electrodes) are inserted into an apple, a lemon or a potato on opposite sides, and then the circuit is closed. The resulting potential can be measured using a voltmeter, the current with an ammeter or, by inserting a small flashlight bulb into the circuit we can “prepare” an operating light source from a fruit or vegetable, thus gaining the enthusiastic appreciation of the students. When performing the experiment, one should draw the students’ attention to the following:

- The potato, lemon or apple here serves as an electrolyte, i.e., a solution containing ions (cations and anions). Ask the students what are the ions expected to be present in these foods (the better ones will surely mention, for example, potassium and calcium as cations and chloride, citrate and phosphate as anions).
- The water content of these raw food electrolytes is roughly as follows: potato – 76%, apple – 90%, lemon – 89%. The mineral content (essentially the ash content) is this: potato – 1.1%, apple – 0.4%, lemon – 0.6%.
- Let us ask the question: is the resulting voltage value influenced by the identity of the product (food) the electrodes were inserted into, i.e., would the voltage be different in the case of pears or oranges?
- If there is time, we can perform the experiment using other metals (e.g., iron, silver, aluminum) as well, pointing out the differences in electrode potential and hence the differences in the voltage values obtained.
- Be sure to mention that the voltage obtained can be increased by connecting several galvanic cells in series.

3.2. Determination of sugar content by density measurement

Prepare 10, 20 and 30 weight percent beet sugar (sucrose) solutions – or possibly 10 g/100 ml, 20 g/100 ml and 30 g/100 ml sugar solutions – and measure the density of these solutions in an easy to perform, but quite accurate way, using a pycnometer. We will see that the measured density will be about 1.04 g/cm³ for the 10% solution, 1.08 g/cm³ for the 20% solution and 1.12 g/cm³ for the 30% solution. So there

is a strong correlation between the concentration and the density, and the change in sugar concentration can be followed by a simple physical measurement, without resorting to chemical analysis. Point out the following:

- An unknown sugar concentration can be determined knowing tabular data (e.g., Chemists’ pocketbook or the internet), or by recording a calibration curve.
- In theory, density measurement as the method of determination can only be used in the case of binary (two-component) systems, but there are many foods where, in addition to water, there really is just one dominant component present, so the procedure can be used routinely with acceptable accuracy, for example, in the case of measuring the sugar content of must or the alcohol content of dry wines based on density measurement.
- In the case of components other than beet sugar, naturally the density values will be different in the case of the same concentration so, for example, in the case of table salt (NaCl) the density will be roughly 1.07 g/cm³ for the 10% solution and 1.15 g/cm³ for the 20% solution.
- Of course, to a very small degree, the densities of the solutions tested are influenced by the temperature – tabulated data are usually for 20 °C – , but the difference in density of a 20% sugar solution at 15 and 20 °C is negligible – 1.08233 and 1.08094 g/cm³ – , the values are within the measurement error.
- There are other physical and chemical techniques for the measurement of sugar content, such as the polarimetric analysis that can be used in the case of optically active substances (such as sugar), in which case the rotation of the vibration plane of polarized light is measured, and the concentration is calculated from this. Another well-known and simple procedure is the refractometric method, in which the refractive index is measured.

3.3. Measurement of pH with a hand-held pH meter, using an electroanalytical procedure

pH measurement was already discussed in our previous article mentioned above, but then it was not performed using an electroanalytical procedure, but a fine-scale universal pH paper. The basis for the electrometric measurement is the Nernst equation, describing the relation, in the case of dilute solutions, between the potential of the electrode immersed in the solution and the hydrogen ion concentration [11]. The glass electrode measurement technique (hand-held pH meter with a glass electrode) can basically be considered direct potentiometry [12].

Data are provided by a digital pH meter with an accuracy of ± 0.1 pH value, and the measurement can be performed relatively easily, after washing the glass electrode with distilled water and calibration using a pH 7 buffer solution. Since the measurement range of the instrument covers 14 orders of magnitude – it can be used between the pH values of 0 and 14 –, it is suitable for the testing of very different substances and beverages, possessing very different pH values, such as fruit juices, fruit syrups, mineral waters, or even the aqueous solutions of baking powder or baking soda. Let's perform two measurement series. In the first, measure the pH value of the same sample, taken from a fruit juice, ten times, and check if there is a difference between the data provided by the membrane electrode instrument with an accuracy of 0.1 pH value. Second, prepare multiple dilutions of the test solution, using the same degree of dilution, and check to what extent the pH value changes. Try to have the students solve the problem of why the change in pH will be smaller and smaller after successive dilutions of the same degree (in this case, the change meaning an increase).

Regarding the above, students' attention should be drawn to the following aspects: When evaluating measurement data, point out the relationship and the difference between accuracy and reproducibility!

- Mention that there is a correlation between the titratable acid content of foods and beverages (very often a qualifying factor!) and the measurable pH value [13], and in the case of a given sample group, the titratable acid content can be estimated with good approximation, based on the pH value.
- Discuss with the students if it makes any sense to report pH values with an accuracy of more than 0.1 pH value, and if not, why not.

3.4. Removal of food coloring with activated carbon

Activated carbon is a microporous material with high specific surface area. The surface area of 1 gram of activated carbon can be as high as 500 m². The high specific surface area of activated carbon can bind (adsorb) many compounds, giving it several application areas. It is used, among other things, for purifying gases and gas mixtures (e.g., in air filters, respirators), for water treatment and in medicine, but it is of great importance in the food industry as well. It can be used, for example, for the preparation of decaffeinated coffee or to improve the color of wines. The surface binding capacity of activated carbon can be demonstrated clearly by the following experiment.

Place activated carbon (it can be powdered or a tablet) in a beaker and add a small amount of food coloring solution, e.g., the dilute aqueous solution of red food coloring containing azorubine (E122). Stir the

mixture briefly, then pour it into a funnel fitted with filter paper and placed above a test tube. Comparing the color of the filtrate and that of the original dye solution, the difference between the two solutions will be clearly visible, because the filtrate will be colorless. The colorless nature of the filtrate can be explained by the fact that the organic dye substances of the food coloring are bound or absorbed by the large surface area of the activated carbon.

During the experiment, one should draw the students' attention to the fact that adsorption on activated carbon is a weak, secondary interaction. One evidence of this is that the coloring substance can be dissolved from the surface of the adsorbent using a properly selected organic solvent.

It is also worth mentioning that adsorption (binding) should not be confused with the phenomenon of absorption.

Of course, instead of food coloring, one can also try to bind the dyes in red wine, fruit syrup or fruit tea, however, before presenting the experiment, it is recommended to optimize the amounts of activated carbon and colored solution beforehand in all cases.

3.5. Separation of the dye components of green food coloring

In chemistry, the separation of mixtures is a part of the curriculum, so students could learn about the most important characteristics of sedimentation, filtration, evaporation, crystallization and distillation, among other things. Although chromatographic separation techniques play a key role among modern chemical separation methods, very little is said about them even in the high school curriculum. The principle and the importance of the method can be demonstrated by a very simple experiment. Students can easily answer the question how, for example, sugar and sand or salt and iron can be separated, but who would be brave enough to separate the blue and yellow components of green food coloring? In fact, this "trick" is not hard at all, it is just a simple paper chromatography separation.

Place a few drops of blue and yellow food coloring on a watch glass, and then mix them. This is how the green colored solution is obtained. Draw a faint horizontal line on a piece of filter paper with the help of a ruler. Place the drops of the two-component solution on this line (the starting line). Place the paper in a glass jar containing water, then put a lid on the jar. Care must be taken that the water level does not reach the starting line drawn on the filter paper. The water flowing upward on the filter paper (the so-called eluent or mobile phase) carries with it the colored substances to be separated, which will gradually separate from each other while moving upward on the filter paper or the stationary phase (the experiment takes time).

The explanation for the phenomenon is that different dye substances are bound to the surface of the filter paper with different intensities. Thus, the water flowing upwards on the filter paper carries them to different distances. For comparison's sake, blue and yellow food colorings can also be applied to strips of filter paper. The experiment can be made even more spectacular by using a thin layer chromatographic stationary phase.

You can remind students that the thin layer chromatography technique is also referred to in the English terminology as the abbreviation TLC.

3.6. Chemical “yo-yo”

The chemical “yo-yo” is a spectacular, real “*kitchen experiment*” related to the topics of dissolution and acid-base reactions that can be performed both easily and quickly [14].

The experiment is performed by placing baking powder (or baking soda) in a beaker, and then carefully pouring oil on top of it. Following this, a few drops of red food coloring is added to vinegar in a small beaker, and small drops of the resulting red colored solution are transferred to the beaker with the oil, with the help of a dropper.

During the experiment, red colored vinegar drops first sink to the bottom of the beaker where they get into contact with the baking powder, and then rise to the surface of the oil. The repeated sinking and rising of the vinegar drops is in fact similar to the movement of a yo-yo.

The experiences of the experiment are explained by the fact that vinegar is insoluble in oil and, therefore, the vinegar remains as small drops. At the same time, the density of vinegar is higher than that of oil, so the small globules sink to the bottom of the beaker. When they get into contact with the baking powder, the vinegar reacts with the sodium hydrogen carbonate of the baking powder. During the reaction, carbon dioxide evolves, propelling the drops to the top of the oil. At the surface of the oil the carbon dioxide leaves the vinegar drop, which starts to sink again.

3.7. Studying osmosis with potatoes

During osmosis, diffusion of the solvent (usually water) happens through a semipermeable membrane, from the solution with the lower concentration towards the one with the higher concentration. Semipermeable membranes have small holes that only let particles through that are below a certain size limit. As a result of this, diffusion of the larger molecules is inhibited by the membrane, while that of the smaller ones (here, water) is not. Osmotic pressure is the pressure that has to be exerted on the solution in order to achieve a dynamic equilibrium (i.e., prevent osmosis) against the pure solvent. If the osmotic pressure of a solution is larger than that of another

solution, it also means that it has a higher concentration of dissolved particles.

During the experimental observation of the phenomenon of osmosis, a deep hole is carved into an unpeeled potato, which is then filled with table salt. The potato is placed in the mouth of a flask big enough to hold it, but not big enough for the potato to fall through. In our experience, the volume of the potato decreased after a few hours (or sometime a day) that it fell into the flask, and in the meantime salt solution flowed out of its cavity. The explanation for this phenomenon is that the cell membrane of the tissue cells of the potato is semipermeable. Due to the high concentration NaCl solution or NaCl crystals placed in the extracellular space, the water content of the cells starts to flow outward. Tissue cells start to shrink because of the loss of water, and so the volume of the potato decreases.

It is advisable to draw the students' attention to the fact that it is a similar phenomenon also based on osmosis when the skin of ripe cherries or sour cherries breaks as a result of rain, because water enters high the sugar content interior space (the cells) through the cell walls, and excess pressure ruptures the membrane. The inverse of the phenomenon of osmosis, called reverse osmosis (RO) is widely used in the food industry for the thickening of fruit and vegetable juices.

3.8. Studying the sol-gel states of protein colloids

To study the sol-gel states, gelatin is used. Gelatin (from the French *gélatine*) is a translucent, colorless, almost tasteless solid, prepared by the irreversible hydrolysis of collagen extracted from the connective tissues of animals. Its protein content is roughly 98%, and the biological value of the protein is low, containing mainly glycine, proline, hydroxyproline and glutamic acid, i.e., non-essential amino acids. It is widely used in the food industry, the pharmaceutical industry, and even in cosmetics. Materials containing gelatin or having similar consistency are usually also called gelatin. It is used in foods as E441 as emulsifier and also as a gelling agent.

Approximately 10 g of gelatin (protein) is warmed with about 60 ml of distilled water, and small amounts of the gelatin solution are added to several test tubes. By cooling it to room temperature, the material in the gel state can be observed, then warming it up in warm water, we can see how the gel turns into sol. After cooling, it becomes gel once again (it jellies).

The explanation of the phenomenon lies in the fact that the thermal movement of the water molecules accelerates due to the heat, and so the hydration shell around the gelatin particles becomes smaller. This means that the amount of free water increases, so the gelatin-water mixture reaches the sol (solution) state. As a result of cooling, the amount of water

arranged in the hydration shell increases, large hydration shells bind to each other, and the colloidal solution becomes a gel, i.e., a semisolid, form-stable state, a gelatinous consistency forms.

Incidentally, the development/change of sol-gel states forms the basis for the operation of biological systems, and often for different food industrial and food preparation technologies.

3.9. Examination of fruit firmness

It is our everyday experience that the quality and the shelf life of fruits correlates strongly to their firmness. Since one can now buy practically any fruit in any season, the measurement can be performed on a fruit of choice at any time during the school year. Of course, it is worth choosing a certain type of fruit and examine its versions of different firmness. With our students, we chose jonagold apples.

For the examination of firmness, a not too complicated measurement tool is assembled: a microphone is placed in a wooden box with a circular opening at the top, with a light, soft cover with a porous texture, ensuring free vibration of the fruit. The fruit to be examined is placed on this. The fruit is then simply hit by a stick – excitation –, generating a sound wave which is registered by the microphone. (By connecting the microphone to a computer, the characteristic frequency of the sound wave generated can be determined using a sound evaluation program.) It is important that the sound wave registered is the vibration in the fruit, and not the sound that can be heard in the air [15].

Firmness determines what the size of the dent on the object examined will be as a function of the force used. So the unit of measurement is N/m. It is easy to see that the same unit is obtained when the mass of the sample examined is multiplied by the square of the frequency:

$$\frac{N}{m} = \frac{kg \cdot \frac{m}{s^2}}{m} = kg \cdot \frac{1}{s^2}.$$

So all we have to do during the measurement is to determine the mass of the fruit and the frequency of the sound wave generated.

It can already be important to students that, instead of dent size and force, mass and frequency can be measured, drawing attention to the importance of relationships between physical quantities. Furthermore, it is also good to emphasize how important it is to find preferably non-destructive methods when analyzing foods (in this case, fruits). Of course, the INSTRON instrument used for performing rheological and textural analyses or the fructometer are well-known in the profession, but it is quite unlikely that

high school laboratories will possess these. The measurement technique described above is applicable to vegetables and greens (e.g., tomatoes) as well.

Incidentally, if measurements on the given fruit samples are performed by students several days in a row, a “series” can be compiled, based on which it can be determined about a fruit type how old the product could be, and it can also be estimated how long it can be kept under certain storage conditions (temperature, relative air humidity).

3.10. Studying the conductivity of electrolyte solutions

During the studies on electric current – in the 8th and 10th grades – in physics classes it is worth dealing in more detail not only with the conductive properties of metals, but at the same time, also with the conductivity of electrolytes. With a few simple experiments it can be demonstrated that the resistance or the conductivity – which is the reciprocal of resistance – of electrolyte solutions (e.g., water, mineral water, tea, coffee, fruit juice, soft drink) depends:

- on the amount or concentration of ions present in the electrolyte solution
- similarly to metallic conductors, on the „geometry” of the solution
- on the temperature of the solution

The first, very simple experiment can be performed in order to prove that tap water is not, or only very slightly electrically conductive, however, in a solution of table salt, conductivity increases dramatically. For this, it is sufficient to pour tap water into a beaker, into which carbon electrodes are immersed. As a power source, a battery can be inserted into the circuit. The electrode-battery circuit can be completed with a light bulb connected in series. While there is pure tap water in the beaker, the bulb is not lit, but as soon as we start adding salt to the water, the bulb will glow brighter and brighter.

The same tools are needed for the second experiment. Here we show that if the carbon electrodes are immersed in the electrolyte solution deeper (let’s stick to the aqueous solution of table salt, but other liquids containing ions can also be used of course), then the bulb will glow brighter, and if we pull them out, the brightness is reduced.

The same assembly is used again in the third experiment, but two solutions of the same concentrations are measured simultaneously. One solution is warmed until there is a significant temperature difference between them. Then the carbon electrodes are immersed in the beakers. Experience now shows that warm aqueous salt solution conducts electricity better.

Experience that can be gleaned from the experiments:

- Electric conductivity increases with increasing electrolyte solution concentration, but it should be pointed out that it cannot be increased further beyond a certain concentration limit. At higher concentration, conductivity does not increase anymore, because with increasing ion density, the attraction between oppositely charged ions will be considerable as well.
- Similarly to primary conductors (metals), a greater cross-section means greater conductivity as well. (By performing a more complex experiment providing quantitative data, a linear relationship can be confirmed.)
- Conductivity in electrolytes increases with increasing temperatures. This is opposite to what is experienced in the case of metals. We can point out the cause also, since in the case of electrolytes conductivity depends not only on the concentrations of the ions, but also on their mobility, and the latter increases with increasing temperatures.

Finally, it can be emphasized that conductometry is a measurement technique used in several areas of food analysis, as well as quality control. For example, it is suitable for checking the quality of the coffee brewed, to determine whether the coffee served at a restaurant is prepared from the dregs. There is also a conductometric method for the determination of the ash content of sugar. Moreover, the CO₂ content of carbonated beverages can be determined by a conductometric titration [16] [17]. Incidentally, conductivity given in microsiemens units (μS) is also used for the characterization of waters used in food industry technologies, referring to the mineral content.

4. Conclusions

We believe that performing the above-described ten simple physical, biological and chemical experiments and measurements based on food analysis and the observation of phenomena on foods, and their presentation in classes helps to instill knowledge of these subjects in the students. By experimentally demonstrating causal relationships, they also improve their logical thinking. By performing the experiments on foods, i.e., substances known to everybody in everyday life, useful information are conveyed to students about foods. This way, hopefully, we will be able to arouse their interest in the food industry and also in the different areas of food and nutritional science (e.g., food chemistry, food certification, food physics, nutritional biology, food technology).

5. References

- [1] Szabó, S. A., Izsák, M., Bozi, J. (2015): Általános - és középiskolás diákok kémia- és fizika-oktatása élelmiszer-vizsgálati kísérletek segítségével. (Teaching of chemistry and physics in elementary and high schools with help of food science experiments. *Élelmiszervizsg. Közl.*, (J. Food Investigation), 61 (2), 647-656., 2015.
- [2] Rózsahegyi, M., Wajand, J. (1999): *Látványos kémiai kísérletek*. Mozaik Oktatási Stúdió, Szeged, 1999, p. 272.
- [3] Öveges, J. (2008): *Kísérletezzünk és gondolkozzunk!* Móra Kiadó., 2008.
- [4] Z. Orbán, E. (2009): *Szerves kémia*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest., 2009.
- [5] Tóth, Z., Ludányi, L. (2010): *Kémia. Út a tudáshoz*. Maxim Könyvkiadó, Szeged., 2010.
- [6] Marx, Gy. (1979): *Jövődőben. Egy fizikus írásai az iskoláról*. Magvető Kiadó, Gyorsuló idő sorozat, Budapest.
- [7] Papp, S., Kümmel, R. (1992): *Környezeti kémia*. Tankönyvkiadó, Budapest.
- [8] Szabo, S. A. (1993): *Radioecology and environmental protection*. Ellis Horwood Ltd., Chichester, UK.
- [9] Szabo, S. A. (1999): Food physics as an important part of food science and applied physics. *Int. Agrophysics*, 13(4) p. 407-409.
- [10] Szabó, S. A., Tolnay, P. (2014): Differenciálódás és integrálódás a tudományokban. *Magyar Sporttud. Szemle*, 15(1) p. 75-80.
- [11] Lásztity, R., Törley, D. (ed.) (1987): *Az élelmiszeranalitika elméleti alapjai*. Mezőgazd. Kiadó, Budapest.
- [12] Gasztonyi, K. (ed.) (1988): *Műszeres analízis*. Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem, Élelmiszeripari Kar, Budapest.
- [13] Szabo, S. A. (1980): Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen pH-Wert und Azidität in Fruchtsirup und im Saft konservierter Gurken. *Lebensmittelind.*, 27 (8) p. 361-363.
- [14] <http://gyereketeto.hu/tanulas/otletek-szundore-5-nap-kemiai-jojo> (Hozzáférés: 2015. szeptember)
- [15] Felföldi, J. (1996): Firmness assessment of fruits and vegetables based on acoustic parameters. *J. Food Physics*, p. 39-47.
- [16] Szabó, S. A., Bende, E., Hajós, P. (1973): Új módszer sörök és üdítőitalok széndioxid tartalmának meghatározására. *Élelmiszervizsg. Közl.*, 19 (5) p. 249-256-
- [17] Szabó, S. A., Bende, E. (1975): Konduktometrische Bestimmung des Kohlensäuregehalts von Getränken. *Lebensmitt. Ind.*, 22 (3) p. 127-128.