

Az esemény végén került sor az eredményhirdetésre. A díjakat *Patkós András*, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat elnöke adta át.

Egyetlen versenyző sem oldotta meg mindhárom feladatot, így a versenybizottság első díjat nem adott ki.

Két feladat helyes megoldásáért *második díjat* nyert *Kovács Péter Tamás*, a Zalaegerszegi Zrínyi Miklós Gimnázium 12. osztályos tanulója, *Juhász Tibor* és *Pálovics Róbert* tanítványa, valamint *Tompa Tamás Lajos*, a miskolci Földes Ferenc Gimnázium 12. osztályos tanulója, *Zámorszky Ferenc* és *Kovács Benedek* tanítványa.

Egy feladat helyes megoldásáért *harmadik díjat* nyert *Forrai Botond*, a budapesti Baár-Madas Református Gimnázium érettségizett tanulója, *Horváth Norbert* tanítványa – a BME fizikus hallgatója; *Lajkó*

*Kálmán*, a Szegedi Radnóti Miklós Kísérleti Gimnázium 12. osztályos tanulója, *Mező Tamás* tanítványa, valamint *Simon Dániel Gábor*, a Kecskeméti Bányai Júlia Gimnázium 11. osztályos tanulója, *Bakk János* tanítványa.

A második díjjal *Zimányi Gergely* adományából nettó 40 ezer, a harmadik díjjal nettó 25 ezer forint pénzjutalom járt, a díjazottak tanárai pedig a Typotex Kiadó könyvtulványait kapták. A verseny megszervezését az Eötvös Loránd Fizikai Társulat a MOL támogatásából fedezte.

Mind a díjazottaknak, mind tanáraiknak gratulálunk a sikeres versenyzéshez. Köszönetünket fejezzük ki az összes versenyzőnek, hogy részvételükkel, és tanáraiknak, hogy a felkészítéssel, tanításukkal emelték a verseny, és ezzel a magyar oktatás színvonalát.

## A TAVI MOLNÁRPOLOSKA ÁRNYÉKPAPUCSAI ÉS A VÍZ FELÜLETI FESZÜLTSEGE

– a felületaktív anyagok káros hatása a vízfelszíni rovarok viselkedésére

Nagy-Czirok Lászlóné Kiszi Magdolna – Fazekas Mihály Általános Iskola, Kiskunhalas  
Rizmajer Erzsébet – Táncsics Mihály Gimnázium, Dabas  
Kriska György – ELTE Biológiai Intézet és MTA ÖK Duna-kutató Intézet, Budapest  
Horváth Gábor – ELTE Biológiai Fizika Tanszék, Budapest

1994 óta minden év március 22-én ünnepeljük a *Víz Világnapját*. Az ENSZ ezzel igyekszik felhívni a figyelmet édesvízkészleteink veszélyeztetettségére. Általános és középiskolai fizikaórákhoz kapcsolódva ez inspirált minket olyan kutatásokra, amelyek során

környezetvédelmi szempontokkal egészítettük ki az iskolai fizikai ismeretek gyakorlati alkalmazását. Diákok bevonásával azt vizsgáltuk, hogy a környezetünkben található vizek felületi feszültsége mennyire befolyásolja a tavi molnárpoloskák és más vízfelszíni rova-



*Nagy-Czirok Lászlóné Kiszi Magdolna* mesterpedagógus, a Kiskunhalasi Fazekas Mihály Általános Iskola matematika-fizika szakos tanára és igazgatója. A hatásos tanulási-tanítási eljárások alkalmazása mellett azok fejlesztésével és kutatásával is foglalkozik. A tudástérképek tanulási- és gondolkodásfejlesztő módszeréről könyvet és folyóiratcikket írt. Tapasztalatait pedagógus szakvizsgát adó képzésben a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem oktatójaként is továbbadja.



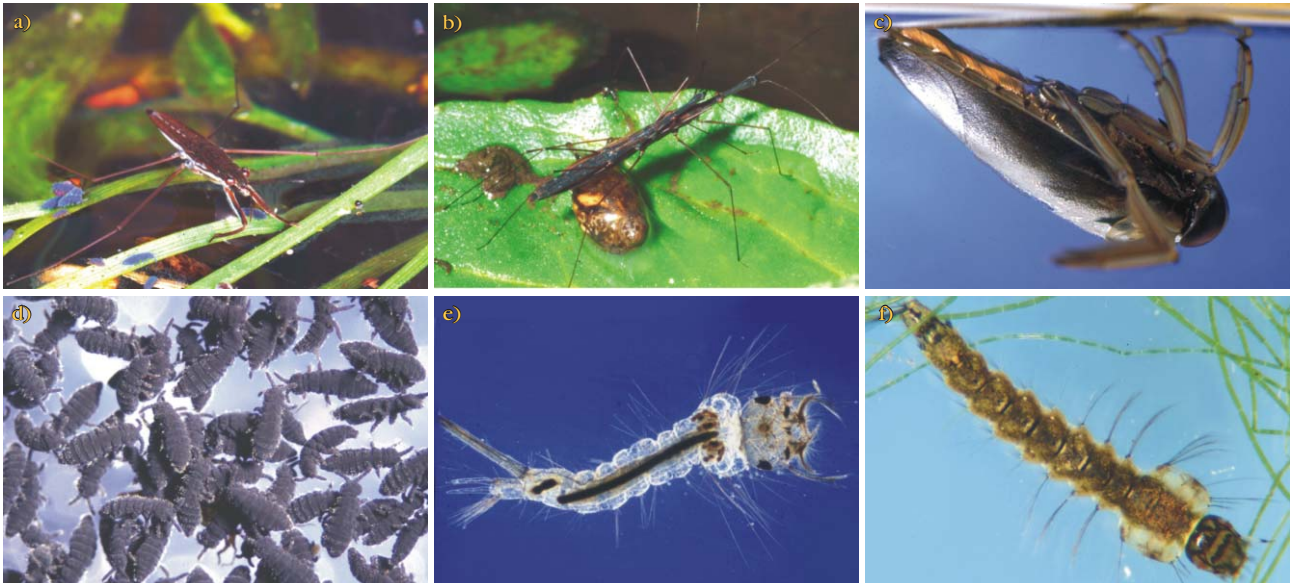
*Rizmajer Erzsébet* 2003-ban végzett az ELTE TTK biológia-környezettan szakán. Szakdolgozatát a vízi élővilágot érintő szennyezések hatásait vizsgáló témában írta. 2008-ban a Pécsi Tudományegyetemen szerzett kémia tanári diplomát. Jelenleg kémia-biológia tanár a Dabasi Táncsics Mihály Gimnáziumban, ahol az Öveges Laboratóriumban laboráns munkakörét is betölti.



*Kriska György*, PhD (ELTE, 2000), egyetemi adjunktus, tudományos főmunkatárs. Az ELTE-n több mint 20 éve tanít biológia tantárgypedagógiát és édesvízi gerinctelen állattismeretet. Számos publikációja jelent meg a vizuális ökológia tárgykörében, a Springer gondozásában kiadott *Freshwater Invertebrates in Central Europe* című monográfia társszerzője. Tudományos érdeklődése elsősorban a poláros fényszennyezés és a poláros ökológiai csapdák vizsgálatára irányul.



*Horváth Gábor* fizikus, az MTA doktora, az ELTE Biológiai Fizika Tanszék Környezetoptika Laboratóriumának vezetője. A vizuális környezet optikai sajátágait és az állatok látását tanulmányozza, továbbá biomechanikai kutatásokat folytat. Számos szakmai díj és kitüntetés tulajdonosa.



1. ábra. A vizsgált vízirovarok (Kriska György felvételei): a) tavi molnárpóloska (*Gerris lacustris*), b) vízmérő póloska (*Hydrometra stagnorum*), c) hátonúszó póloska (*Notonecta glauca*), d) vízi ugróvillás (*Podura aquatica*), e) csípőszúnyog (*Culex sp.*) lárvája, f) malária szúnyog (*Anopheles sp.*) lárvája.

rok viselkedését, amelyek a víz felületén élnek, aminek felületi feszültsége tartja fenn őket és a zsákmányaikul szolgáló kisebb rovarokat [1] (1. ábra).

Az ipari és háztartási szennyvízzel nagy mennyiségben kerülnek az élő vizekbe különböző mosó- és mosogatószeresek. E felületaktív anyagok egyrészt kémiai úton közvetlenül (például feloldva a halak testét borító nyálkárteget vagy blokkolva a fotoszintézist), másrészt a vízi környezet fizikai tulajdonságainak megváltoztatásával (például csökkentve a víz felületi feszültségét) közvetett módon fejtik ki káros hatásukat. A felületi feszültség csökkentése elsősorban a vízfelszín rovarvilágára jelent veszélyt, de végzetes hatású lehet azon állatokra is, amelyek csak ideiglenesen, például légvétel céljából keresik fel a vízfelületet. A felületaktív anyagok káros hatását kísérletekkel szemléltettük, amelyekben nagy hígításban vizsgáltuk egy konyhai mosogatószer hatását a vízben vagy vízben élő rovarokra (1. ábra).

A molnárpóloskák és a vízfelszínen is élő más rovarok (például hátonúszó póloskák, keringőbogarak, ugróvillások) [2–4] hirtelen eltűnése egy vizes élőhelyről a felületi feszültség valamilyen szennyeződés miatti lecsökkenését jelezheti, ami fontos bioindikátor lehet [5, 6]. Az ezzel kapcsolatos vizsgálataink felhívták a diákok figyelmét arra, hogy a háztartásban használt vegyszereknek milyen nagy környezetkárosító hatása van a vizekben is.

## A víz felületi feszültsége és mérése

A vízmolekulában kovalens kötással egy oxigénatomhoz két hidrogénatom kapcsolódik, és a kötések kialakulása után az oxigénatomon két nemkötő elektronpár foglal helyet. A vízmolekulában kialakuló kötés erősen poláros. A molekula geometriája és a kö-

tések polaritása együttesen jelentős dipólmomentumot eredményez. A vízmolekulában – az egyenlőtlen elektroneloszlás miatt – az oxigénatom negatív, a hidrogénatom pozitív részleges töltéssel rendelkezik, ami kedvez a hidrogénhidak kialakulásának. A hidrogén a hozzá közel eső másik vízmolekula oxigénjével másodlagos kémiai kölcsönhatásra, hidrogénkötés létrehozására képes. E hidrogénhidkötések okozzák a víz nagy felületi feszültségét. Felületi feszültségnek a folyadékfelszín kifeszített, rugalmas hártaként történő viselkedését nevezzük. A folyadékok belsejében található részecskéket teljesen körülveszik a szomszédos molekulák, ezért minden irányból egyenletes vonzás hat rájuk. A felszíni részecskékre viszont csak a folyadék felől hat a többi folyadékmolekula vonzása, ezért a felszíni molekulák a folyadék belseje felé próbálnak elmozdulni és a felszín a lehető legkisebb felülettel érintkezik a levegővel.

A felszín növeléséhez részecskéket kell a folyadék belsejéből a felszínre vinnünk. Eközben energiájukat növelnünk kell, tehát energiát kell befektetnünk. A folyadékfelszín növeléséhez szükséges energia függ a folyadék anyagi minőségétől és a felszínre vitt részecskék számától, utóbbi arányos a folyadékfelszín növekedésével. Egy adott folyadék felületi feszültsége függ a folyadék hőmérsékletétől (magasabb hőmérsékleten kisebb) és a folyadék felszínével érintkező másik anyag minőségétől.

A mosó- és mosogatószeresek csökkentik a víz felületi feszültségét. Azon anyagokat (például vízben oldódó sókat), amelyek a víz felületi feszültségét nagy koncentrációban is csak kis mértékben változtatják meg, felületinaktívnak nevezzük. Azokat pedig, amelyek már kis mennyiségben is jelentősen módosítják a víz felületi feszültségét, felületaktív anyagoknak hívjuk (például alkoholok, magasabb széntartalmú zsírsavak, éterek). Ez utóbbiak felületi feszültsége kisebb

a vízénél, így csökkentik az elegy felületi feszültségét. A felületaktív anyagok a kisebb felületi feszültségük miatt főleg a víz felületén halmozódnak fel. A nagy apoláros és a kis poláros résszel rendelkező molekulájú vegyületek felületaktív anyagként viselkednek. A poláros rész vízben oldódik, az apoláros nem. A felületre kiszoruló és azt már közepes koncentrációban is telítő, nem párolgó felületaktív ionok vagy molekulák teszik lehetővé, hogy az oldatból viszonylag hosszú életű vékony hárttyát készítsünk, vagy buborékokat fújjunk.

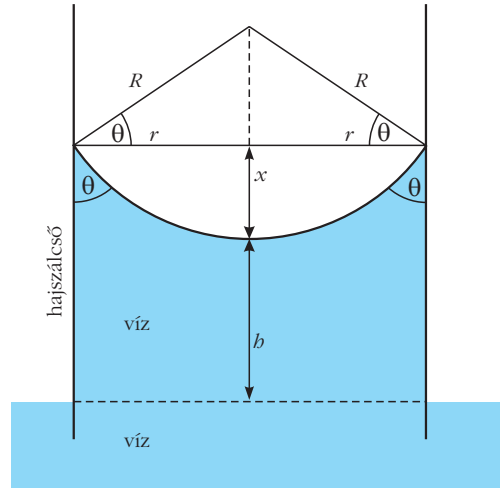
Az iskolákban is könnyen elvégezhető következő két egyszerű kísérlet jól példázza a felületaktív anyagok hatásait:

1. Vízzel töltött Petri-csészében a víz felszínére hintőport szórunk, majd egy csepp étert cseppentünk rá. Azt tapasztaljuk, hogy a csésze közepén egy kör alakú tiszta ablak keletkezik, mert a porszemcséket a vízénél jóval kisebb felületi feszültségű s ezért a felszínen gyorsan szétterülő éter a csésze széle felé tolja. E jelenséget használja ki egy holyva, ami mikor a víz felületén gyorsan kell elmenekülnie, kis felületi feszültségű olajat fecskendez ki potrohvégeiből, s a vízfelszínen hirtelen szétterülő olajcsepp maga előtt tolja a rovart, ami így gyorsan kikerül a számára veszélyes területről [7].

2. Kémcsőből, gumidugóból, sörétből és 1 mm átmérőjű, kör alakú drótból készítsünk olyan úszót, amit óvatosan vízbe helyezve nem merül el, drótkarikája 2 cm-re álljon ki a vízből. Ha az úszót a víz alá nyomjuk és elengedjük, akkor fölemelkedik a felszínig, de nem bújik ki a vízből, jelezve, hogy a felületi hárttya alulról is rugalmas. De ha mosogatószert cseppentünk a vízre, akkor az úszó kibújik a vízből, mert a mosogatószer lecsökkenti a felületi feszültséget. E kísérlet jól szemlélteti, milyen nehézséget kell leküzdeniük a vízben élő rovaroknak, amikor ki akarnak mászni a vízből, vagy a levegőből a víz alá szándékoznak bujni [8]. Ekkor testükkel át kell szakítaniuk a víz felületi hárttyáját. Ezt többnyire csak úgy tehetik meg, hogy egy vízen úszó levélre vagy egy vízinövény vízből kiálló szárára kapaszkodva kerülnek a levegőre. Visszafelé hasonló gonddal küszködnek. Ha a levegőből szeretnének a víz alá jutni, akkor ezt vízinövényekbe kapaszkodva tehetik meg, vagy röptükben fejest ugorva szakítják át a felületi hárttyát.

A víz  $\alpha$  felületi feszültsége (vagy más néven kapillárisállandója) többféleképpen is mérhető. Itt csak a három legkönnyebben kivitelezhető módszert említjük, amelyek iskolákban is megvalósíthatóknak tűnnek [9]:

1. A *szakításos módszernél* függőleges síkú, téglalap alakú,  $L$  szélességű drótkeretet lassan emelünk ki a vízből, és mérjük azon  $F = 2\alpha L$  erőt, ami a keretet szélességében átfogó, a két függőleges oldal között feszülő,  $L$  hosszúságú, vízszintes drótszálhoz tapadó vízhárttya elszakításához szükséges.  $F$  igen kicsi volta miatt ehhez igen érzékeny (digitális) erőmérőre van szükség, és  $F$ -ből le kell vonni a vízhárttya nélkül mérhető, a keret és a függőlegesen mozgó vízszintes drótszál végei



2. ábra. Egy  $r$  sugarú kapilláriscsőbeli víz emelkedésének geometriája a víz felületi feszültségének mérésekor.

között ébredő sűrűlási erőt. De nem is e nehézség teszi gyakorlatilag kivihetlenné a víz  $\alpha$ -jának illeten mérését, hanem az, hogy a tiszta csapvíz és más, csak kis koncentrációban szennyezett természetes vizek nem képeznek hárttyát a drótkeretben, vagy ha igen, akkor az igen rövid időn belül szétszakad.

2. A *hajszálcsöves módszernél* egy  $r$  sugarú vékony üvegcsövet állítunk függőlegesen a vízbe és megmérjük a csőbeli víz vízfelület fölötti  $h$  emelkedési magasságát, amit a csőbeli közel gömb alakú vízfelszín (meniszkusz) legalsó pontjától mérünk (2. ábra). Legyen  $\rho$  a víz sűrűsége,  $g$  a gravitációs gyorsulás,  $\theta$  a vízfelület illeszkedési szöge az üvegfalnál és  $R$  a meniszkusz sugara (2. ábra). A meniszkusz fölfelé ható görbületi nyomása

$$p_g = \frac{2\alpha}{R}, \text{ ahol } R = \frac{r}{\cos\theta}.$$

A csőben a vizet  $F = p_g r^2 \pi$  erő húzza fölfelé, ami egyensúlyt tart a meniszkusz alatti,  $V$  térfogatú vízoszlop  $G = \rho V g$  súlyával. A 2. ábra szerint  $x = R - R \sin\theta$ . Az  $R$  sugarú gömb  $x$  magasságú gömbsüvegének térfogata:

$$V_{GS} = \frac{\pi (3R - x) x^2}{3}.$$

Az  $R$  sugarú meniszkusz alatti vízoszlop térfogata:

$$V = r^2 \pi (h + x) - V_{GS}.$$

Az  $F = G$  egyenlőségből a víz felületi feszültsége:

$$\alpha = \frac{\rho g r}{2 \cos\theta} \left[ h + \frac{r}{\cos\theta} - \tan\theta - \frac{r}{3 \cos^3\theta} (2 + \sin\theta) (1 - \sin\theta)^2 \right]. \quad (1)$$

Tehát mérni kell a helyi  $g$  gravitációs gyorsulást, a víz  $\rho$  sűrűségét, az  $r$  sugarú kapilláriscsőbeli víz menisz-



kuszának  $\theta$  illeszkedési szögét és a meniszkusz legalsó pontjának  $b$  magasságát ahhoz, hogy (1) szerint megkapjuk a víz  $\alpha$  felületi feszültségét. Habár az iskolában  $g$ ,  $\rho$ ,  $\theta$  és  $b$  mérése nem lehetetlen, de eléggé nehézkes. Eötvös-inga vagy másféle graviméter hiányában  $g$  nem mérhető, a kapillárisbeli meniszkusz kicsiny átmérője okán  $\theta$  és  $b$  gyakorlatilag csak mikroszkópos és közeli (makro) felvételek kiértékeléséből határozhatók meg. A csak alig szennyezett természetes vizek sűrűségeit is nagy pontossággal kell mérni a közöttük lévő elenyésző különbségek miatt. Mindezek folytán e mérések szinte csak fizikokémiai analitikai laboratóriumokban lennének kivitelezhetők, az iskolákban róluk le kell mondani.

3. A *csepegtetési módszernél* vastag falú, függőleges, alul síkra csiszolt kapilláriscsőből, úgynevezett sztalagmométerből lassan csepegtetjük ki a vizet, és mérjük bizonyos számú csepp súlyát. Mivel a csepp felszíne az  $r$  külső sugarú csővel  $2\pi r$  hosszúságú darabon érintkezik, a felületi feszültségből eredő erő legfeljebb  $G^* = 2\pi r\alpha$  súlyú cseppet tud fenntartani. A valóságban a  $\rho$  sűrűségű,  $T$  hőmérsékletű leszakadó csepp súlya a csepp befűződése miatt  $G^*$ -nál kisebb:

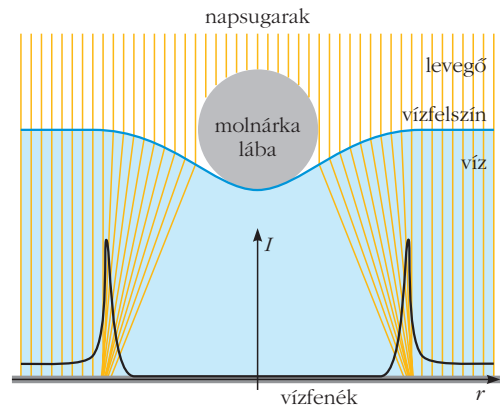
$$G = k(r, \alpha, \rho, T) r\alpha, \quad (2)$$

ahol  $3,8 \leq k(r, \alpha, \rho, T) \leq 4,5$ . Pontos méréseknél az  $r$ -től,  $\alpha$ -tól,  $\rho$ -tól és  $T$ -től függő  $k$ -t táblázatból kell kikeresni. A (2) egyenlet  $\alpha$ -ra történő iteratív és interpolációs megoldását igen megnehezíti, hogy a  $k(r, \alpha, \rho, T)$  négyváltozós függvény csak véges felbontású numerikus táblázatos formában ismert. E bonyolult korrekció összehasonlító méréseknél gyakran mellőzhető, és ekkor két különböző vízre nézve  $\alpha_1/\alpha_2 \approx G_1/G_2$ , azaz a felületi feszültségek közelítőleg úgy aránylanak egymáshoz, mint a cseppek súlyai [9].

A víz felületi feszültségének pontos, számszerű mérését a főnti bonyolult mérőmódszerekkel valójában csak egyetemi szintű fizikokémiai laboratóriumokban lehet kivitelezni. Az említett mérés technikai nehézségek miatt az iskolai fizikaórákon kénytelenek vagyunk lemondani a víz felületi feszültségének pontos, számszerű méréséről, és meg kell elégednünk az összehasonlító, relatív mérési módszerekkel. Iskolai méréseink során mi is így jártunk el. Cikkünkben a különböző vizek felületi feszültségeit hasonlítottuk össze három eltérő relatív mérési módszerrel: (i) tavi molnárpóloska árnyékpapucs-területének mérésével, (ii) vízben úszó penge terheléses mérésével, (iii) büretából történő csepegtetéssel.

## A víz felületi feszültsége és a tavi molnárpóloska árnyékpapucsai

2015 őszén 13-14 éves diákokkal végeztünk a víz felületi feszültségével kapcsolatos vizsgálatokat. Először tavi molnárpóloskával (*Gerris lacustris*) kísérleteztünk, amely a vízfelületen él és ott vadászik a vízbe pottyant apróbb rovarokra. Négy hátsó, hosszú lábá-

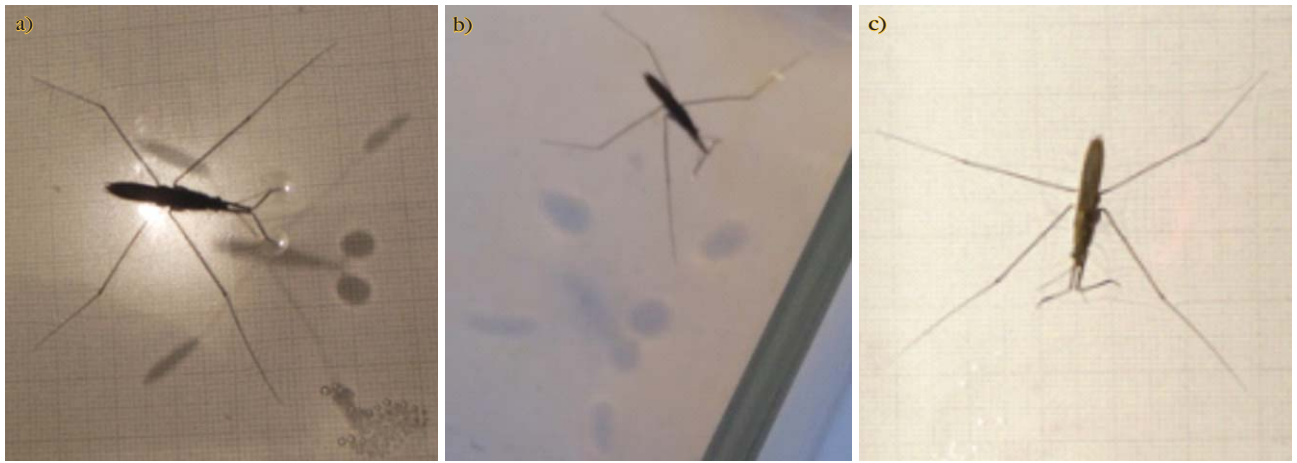


3. ábra. Az  $I$  fényintenzitás változása a tavi molnárpóloska függőleges fénysugarakkal megvilágított lába alatt a lábtól mért  $r$  távolság függvényében függőleges keresztmetszetben ([10] alapján).

val támaszkodik a víz felületi hátrájára, így nem süllyed el. E lábakat nem nedvesíti a víz, mert rengeteg kicsi, vékony szőrszál borítja őket, amelyek a közük szoruló levegővel együtt ideális víztaszító burkot képeznek [10]. A molnárpóloska két mellső lábával ragadja meg vízfelszíni zsákmányát, aminek előemésztett testnedveit hosszú szűrő-szívó szájszervével szívja ki. Ha a vízben tartózkodó molnárpóloskát napfény éri, s a víz eléggé tiszta és sekély, akkor a vízfénéken jellegzetes árnyékképe látható: a teste és hat lábának árnyékán túl a lábak végén közel ellipszis alakú sötét árnyékfolt jelenik meg, mintha papucsot húzott volna a rovar [10]. A napfény sugarai a lábaknál besüllyedő és domború lencsét képező vízfelületen megtörnek, így a lábak vége alá nem jut napfény, s kialakulnak a papucsszerű árnyékfoltok (3. ábra).

Ha a víz felületi feszültsége egy kritikus érték alá csökken, akkor a molnárpóloskát már nem képes megtartani, és így nem tud mozogni [11–13]. Ez a helyzet bizonyos szennyezett vizekkel, amelyeken a molnárpóloska nem tud megélni. A mérési feladat annak kvalitatív meghatározása volt, hogy mennyire kell lecsökkenteni a víz felületi feszültségét ahhoz, hogy egy molnárpóloska elsüllyedjen benne. E mérés nem számszerűleg jellemezte a felületi feszültséget, hanem a vízbe csöppentett, felületi feszültséget csökkentő mosószer cseppszámával, ami megtehető, mert a víz felületi feszültségét a belé adagolt, nagyobb cseppszámú felületaktív vegyszer jobban csökkenti.

Egy tiszta csapvízzel töltött üvegtál vízfelületére egy molnárpóloskát helyeztünk, amit a Kiskunhalas melletti Sóstón fogtunk, de megtalálhattuk őket más természetes víztesteken is, például pocsolyákon, tavakon, patakokon, folyókon. Először a molnárpóloska mozgását figyeltük a vízfelületen. Kezdetben a vízfelület rendben megtartotta a rovar, amely lábával csapkodva néha ide-oda mozgott a felszínen (4.a ábra). Ezután szemcseppentőből konyhai mosogatószert cseppentettünk több, üvegedényben levő, azonos mennyiségű vízbe, így különböző töménységű oldatokat készítettünk, nagyobb töménységet elérve, jobban csökkentve a felületi feszültséget. Egyre töményebb oldatra helyezve figyeltük a molnárpóloskát. Egyszer csak észrevettük, hogy a

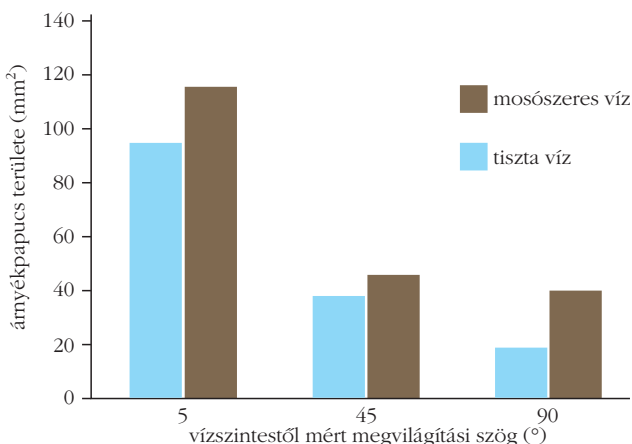


4. ábra. a) A tiszta víz megtartja a molnárpóloskát, árnyékpapucsai jól fényképezhetők. b) Ahogy süllyed a rovar a mosószerezrel szennyezett vízben, úgy nőnek az árnyékpapucsok. c) Szinte már csak a rovarrest nagyra nőtt árnyéka látszik, mert a molnárpóloska lábai teljesen be-süllyedtek a jelentősen lecsökkent felületi feszültségű vízbe (Kiszi Magdolna felvételei).

lábai egyre lejjebb süllyedtek a vízben (4.b ábra). A töményebb oldatba áthelyezést akkor hagytuk abba, amikor a molnárpóloska lábai teljesen a vízbe süllyedtek (4.c ábra). A víz felületi feszültsége ekkor csökkent le annyira, hogy már nem tudta megtartani a molnárpóloskát. Az ehhez tartozó mosószercseppszám jellemeztük a molnárpóloska elsüllyedését előidéző kritikus felületi feszültséget. E kísérletet többször is elvégeztük különböző, kisebb és nagyobb testű molnárpóloskákkal, és mindig ugyanazt az eredményt kaptuk: ugyanazon mosószercseppszámnál süllyedtek el a rovarok. A kísérletbe vont molnárpóloskákat a lábaikra tapadt mosószerez leáztatásához tiszta vízbe raktuk, majd miután a rovarok a lábaik aktív tisztogatásával eltávolították a szennyeződést, természetes élőhelyükön szabadon engedték őket. Méréseinkkel bizonyítottuk a mosószerezek felületi feszültséget csökkentő káros hatását a vízeken élő molnárpóloskákra. Később öt másik vízi-rovarral is kísérleteztünk (lásd alább).

Vizsgálatunk közben a molnárpóloskát felülről világítottuk meg egy, a Napot imitáló, közel párhuzamos fénysugarakat kibocsátó lámpával, aminek megvilágítási szöge a függőlegetől a vízszintesig volt változtat-

5. ábra. Egy molnárpóloska egyik árnyékpapucsának  $\text{mm}^2$ -ben mért területe (függőleges tengely) három különböző megvilágítási irányra, tiszta és mosószerez víz esetén (vízszintes tengely).



ható. Az üvegtál alá milliméterpapírt helyeztünk. Egy adott megvilágítási szögnél és felületi feszültségnél (vízbe cseppentett mosószerezmenyiségnél) felülről lefelé, függőlegesen fényképeztük le a molnárpóloska vizes tál alján kialakult árnyékát. Egy adott felületi feszültségnél három megvilágítási szöget állítottunk be. Ezután csökkentettük a felületi feszültséget, és ugyanebben a három szögben megvilágítva a rovar ismét felvételeket készítettünk. A mérés végén adódó digitális fényképsorozat képeiből képmetsző programmal kivágtuk a molnárpóloska árnyékát és vizsgáltuk a lábvégek árnyékpapucsainak ellipszisszerű alakját, végül – a mögötte jól látszó milliméterpapíron – leolvastuk területét. Az árnyékpapucs  $\text{mm}^2$ -ben mért területét három különböző megvilágítási szögre az 5. ábra mutatja tiszta és annyira mosószerez víz esetén, hogy a molnárpóloska már elsüllyedt.

E kísérletet egy nagyobb üvegtálal kell végezni, amiben legföljebb 1-2 cm vastag vízréteg lehet, mert csak ekkor látszik jól a lámpával felülről megvilágított molnárpóloska árnyéka. A diffúz fényt ki kell zárni, lehetőleg besötétített helyiségben érdemes vizsgálni.

Egyik megfigyelésünk az volt, hogy adott felületi feszültség (mosószercseppszám) mellett a függőlegetől mért megvilágítási szög növekedésével (ami a Nap zenitől mért egyre nagyobb szögtávolságának felel meg) a molnárpóloska árnyékpapucsai egyre jobban megnyúltak. Másik észrevételünk szerint adott megvilágítási szög mellett a felületi feszültség csökkentésével egyre mélyebbre süllyedő rovarlábak egyre jobban meggörbítették a vízfelületet, ami így egyre domborúbb lencseként egyre jobban kiszórta a fényt a lábak alól (3. ábra), miáltal az árnyékpapucsok területe egyre nagyobbá vált. Amint növeltük a víz mosószerez-töménységét, az árnyékpapucsok mérete nőtt (4.b ábra), majd egyszer csak a papucsok eltűntek (4.c ábra), és ekkor molnárpóloskáink elsüllyedtek a lecsökkent felületi feszültség miatt. Az 5. ábra szerint az árnyékpapucs területe a vízszintestől mért megvilágítási szög növekedésével csökkent és a mosószerez vízben mindig nagyobb volt, mint a tisztában.

Eredményeink szerint a mosószeres szennyezés anynyira lecsökkentheti a vizek felületi feszültségét, hogy a molnárpoloskák elsüllyedhetnek és elpusztulhatnak. A felületi feszültség csökkenése nemcsak a molnárpoloskákra, hanem más a vízfelszínen élő vagy a vízfelszínhez alulról kapcsolódó ízeltlábúakra is veszélyes. A vízbe pottyant szárazföldi rovarok tetemei is elsüllyednek, így nem találják meg őket a velük táplálkozó vízi állatok. Következtetéseink szerint a tápláléklánra nagy veszélyt jelenthet a víz felületi feszültségét csökkentő vegyi anyagokkal történő szennyeződés.

## Város körüli vizek felületi feszültségeinek összehasonlítása

Vizsgáltuk a Kiskunhalas környéki természetes vizek (Sóstó, Dong-éri csatorna, egy szeméttelép rekultivációja során kialakított mesterséges tó) felületi feszültségét, kontrollként pedig csapvíz szolgált. A szóban forgó vizekből vízmintákat gyűjtöttünk, amelyek felületi feszültségeit kvalitatíven hasonlítottuk össze vízen úszó penge terhelésével és bürettáblából történő csepegtetéssel.

### Vízen úszó penge terheléses mérése

Egy 0,8 g tömegű borotvapengét helyeztünk lapjával párhuzamosan a vízhártyára. A pengét fokozatosan terheltek apró súlyocskák ráhelyezésével, mindaddig, amíg a penge el nem süllyedt. A víz felületi feszültségét ekkor a penge elsüllyedését előidéző súllyal jellemeztük, mert a két mennyiség arányos egymással. Azt tapasztaltuk, hogy a legnagyobb felületi feszültsége a csapvíznek, majd a Sóstónak, a Dong-éri csatornának és végül a rekultivációs tónak volt (1. táblázat). Gyanúnk szerint a szeméttelép rekultivációja során nem történt mély talajcsere, így az ott maradt szennyező anyagok folyamatosan oldódtak, belekerültek a csapadékvízbe [14]. A Dong-éri pedig közismerten erősen szennyezett.

Mivel a vizek egymást szennyeznék, amikor a pengét az egyik vízből a másikba átraknánk, ezért az öt vízmintába öt pengét vettünk, és nem cseréltük fel őket. A pengéket egy tiszta fémvilla segítségével helyeztük a vízminták felszínére, hogy kezünk bőrének zsírossága ne befolyásolja az eredményeket. A pengét és a kis terhelősúlyokat a vízből mágnessel emeltük ki. Ha a penge fölbillent a terhelősúlyok forgatónyomatéka miatt, akkor azt a mérést figyelmen kívül hagyva megismételtük. Ügyelni kellett arra is, hogy akkor mérjünk, amikor már kiegyenlítődt a szertári levegő és a vízminták hőmérséklete, mert a felületi feszültség hőmérsékletfüggő. A mérésorozatokat az őszi hónapokban eltérő hőmérsékleteken, több alkalommal is elvégeztük a négy vízmintán, amelyekre mindig az 1. táblázat szerinti sorrendet kaptuk.

Utolsó mérésünkönkor a Dong-éri vizének felületi feszültsége a korábbiakhoz képest megnőtt, mert kitisztították a csatornát: az oldalán látszott a kihúzott szemét. A víz gyorsabb áramlása, ezzel együtt öntisz-

csapvíz	Sóstó	Dong-éri csatorna	rekultivációs tó
2,2 g	2,0 g	1,5 g	1,2 g

tulása okozta a vízminőség javulását és a felületi feszültség növekedését. Miután vízmintáinkból kiszűrtük a lebegő anyagokat (homokot, levéltörmelék, egyéb szennyeződések), mindegyik felületi feszültség többé-kevésbé csökkent, legnagyobb mértékben a Sóstóé. Ugyanakkor a felületi feszültségek sorrendje nem változott. Ezek szerint főleg az oldott anyagok koncentrációjától függ a felületi feszültség.

Ezek után levontuk a következtetéseket: (1) A felületi feszültség friss vízminták esetében a következő sorrendben csökkent: csapvíz > Sóstó > Dong-éri > rekultivációs tó. (2) Régi vízmintákat nem érdemes vizsgálni, mert álltukban megváltozhatnak. (3) A lebegőanyagoktól szűrt friss víz felületi feszültsége eltérhet a nem szűrtétől.

### Csepegtetési módszer

Vízmintáink felületi feszültségeit bürettáblából történő csepegtetéssel is összehasonlítottuk. A teljes vízminta tömegének és térfogatának mérésével meggyőződünk arról, hogy a vízsűrűség minden esetben 1%-on belül  $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$  volt. Ezután meghatároztuk egy lecsöppenő vízcsepp

$$m = \rho \frac{V}{N}$$

tömegét, ahol  $V = 5 \text{ cm}^3$  a betöltött víz térfogata,  $N$  az ebből lecsöppenő cseppek száma. A [9] szerint a víz felületi feszültségének növekedtével egyenes arányban nő a lecsöppenő vízcsepp tömege.

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2} \approx \frac{m_1}{m_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

Tehát a felületi feszültség fordítva arányos a cseppszámmal. Minden mérés után a bürettát csapvízzel átöblítettük. A cseppszámokat négy személy számlálta, az eredményeket átlagoltuk. Minden vízmintán kétszer mértünk. E módszerrel is ugyanazon felületi-feszültség-sorrendet kaptuk, mint a borotvapengéssel: csapvíz ( $N = 92$ ) > Sóstó ( $N = 94$ ) > Dong-éri ( $N = 96$ ) > rekultivációs tó ( $N = 98$ ).

## A mosószer miatt lecsökkent felületi feszültség hatása vízfelszíni rovarok viselkedésére

Kísérleteinkben a vízfelszínen élő tavi molnárpoloskák (*Gerris lacustris*), vízmérő poloskák (*Hydrometra stagnorum*) és vízi ugróvillások (*Podura aquatica*)

viselkedését hasonlítottuk össze tiszta csapvíz és mosószerrel szennyezett csapvíz felszínén [15]. Az első hígításnál 1200 ml csapvízhez adtunk egy csepp mosószer (ami 60 000-szeres hígításnak felelt meg), majd az egyre kisebb hígításoknál mindig 100 ml-rel csökkentettük a csapvíz mennyiségét, egyre töményebb mosószeres oldatokat előállítva.

Az 1. kísérletben a rovarokat a csapvíz felszínére helyeztük és följegyeztük a viselkedésüket: ekkor a molnárpoloska és vízmérő poloska a vízfelszínen szabályosan mozgott, végtagjai nem szakították át a víz felületi hártáját, a rovarost nem érintkezett a vízzel, a vízi ugróvillások pedig folyamatosan pattogtak a vízfelszínen, végtagjaik és ugróvillájuk nem szakította át a felületi hártát.

A 2. kísérletben mosószeres oldatokra – a hígabtból a töményebb felé haladva – helyezve vizsgáltuk a vízi-rovarok viselkedését. A puha ecsettel történő áthelyezések előtt a rovarokat tiszta csapvízre tettük, majd szűrőpapírra, hogy az újabb kísérlet elvégzésekor testük száraz és mosószermentes legyen. A vízmérő poloskákánál 25 000-szeres hígításnál (500 ml csapvíz + 1 csepp mosogatószer), a molnárpoloskákánál 30 000-szeres hígításnál (600 ml csapvíz + 1 csepp mosogatószer), az ugróvillásoknál pedig 50 000-szeres hígításnál (1000 ml csapvíz + 1 csepp mosogatószer) szakították át a végtagok a vízfelületi hártát, miáltal a rovarok mozgásképtelenné váltak és elmerültek a vízben.

A 3. kísérletben a víz felületi feszültsége csökkenésének hatását vizsgáltuk a levegőből lélegző vízi-rovarok viselkedésére. E kísérletet kétféle szúnyogfaj (*Culex sp.* és *Anopheles sp.*) lárváival és kifejlett hátonúszó poloskákkal (*Notonecta glauca*) végeztük. E rovarok légzéskor felúsznak a vízfelszínre, majd a testvégi légzőnyílásaik körül található kitinszalak és más testfüggelékek segítségével feltapadnak a víz felületi hártájára. Az *Anopheles* lárvák nem csak légzéskor keresik fel a vízfelszínt, mert táplálékukat is a vízfelszínen sodródó törmelékből szerzik. E kísérletet az előzőekhez hasonlóan elvégezve a következő eredményeket kaptuk:

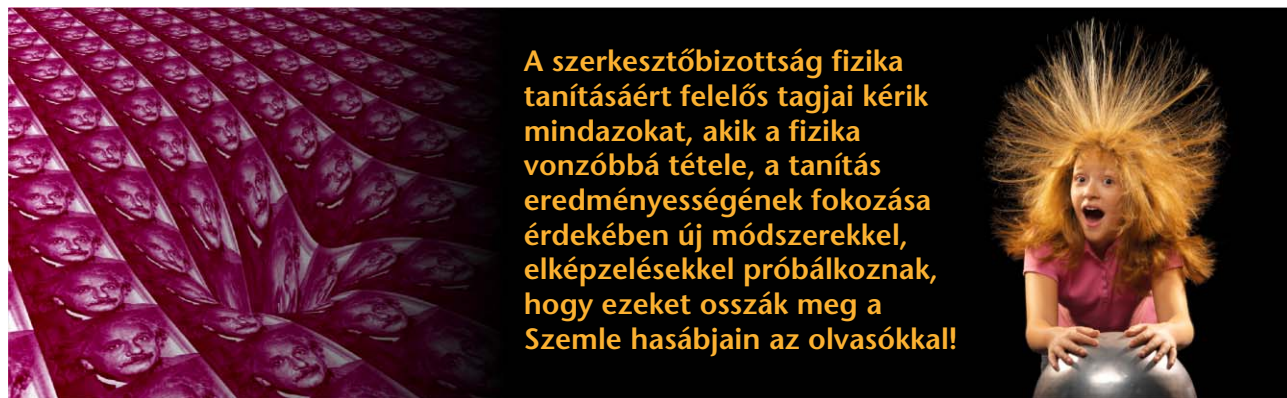
Az *Anopheles* lárvák 15 000-szeres (300 ml csapvíz + 1 csepp mosószer), míg a *Culex* lárvák 500-szoros (10 ml csapvíz + 1 csepp mosószer) hígítású oldatban már nem voltak képesek megkapaszkodni a vízfelszín-

en, így légzés nélkül elpusztultak. Figyelemre méltó a *Culex* lárvák nagy tűrőképessége a felületaktív anyaggal szemben, ami valószínűleg hozzájárul ahhoz, hogy e szúnyogok a jelentősen szennyezett poszolyákban is képesek kifejlődni.

A hátonúszó poloskákánál a felületi feszültség csökkenése a légzésükkel jellegzetes testtartásuk módosulását eredményezte: testük hossz tengelye légzéskor 30°-os szöget zár be a vízfelszínnel tiszta csapvíz esetén, míg 25 000-szeres hígítású mosószeres vízben (500 ml csapvíz + 1 csepp mosószer) e szög 80°-ra nőtt, azaz majdnem merőlegessé vált a vízfelületre.

## Irodalom

1. Kriska György: *Az édesvizek és védelmük: Elméleti és gyakorlati kézikönyv*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 2003., 216 o., ISBN: 9631628590
2. Kriska György: *Vízminőségjelző víziméh. Természetbúvár 1992/3* 45.
3. Scheuer Zsuzsanna, Kriska György, Liszi János: *Vízi ugróvillás. Élet és Tudomány 1994/16* 502–503.
4. Scheuer Zsuzsanna, Kriska György, Liszi János: *Keringőbogár. Élet és Tudomány 1994/19* 598–599.
5. Gánócy Anita: *Antropogén hatások vizsgálata vízparti életközösségekben. A Biológia Tanítása 10/2* (2002) 18–24.
6. Vass Máté: *Miért nem képes a molnárpoloska mindenütt járni a vízben? Detergens hatása élővízeinkre. Természet Világa (Diákmelléklet) 140/7* (2009) CVI–CVII.
7. Ulrich Sedlag: *A csodálatos rovarvilág*. (ford.: Aradszky Gézané) Natura, Budapest, 1982., 206 oldal, ISBN: 9632313704
8. Horváth Ákos, Horváth Gábor: *Vízipók csodapók és a többiek. A vízi-rovarok és a víz felületi feszültsége. Élet és Tudomány 1988/43* 1295–1298.
9. Budó Ágoston, Pócza Jenő: *Kísérleti fizika I.: Mechanika, hangtan, bõtan*. 7. kiadás. Tankönyvkiadó, Budapest, 1978.
10. Zheng Y., Lu H., Yin W., Tao D., Shi L., Tian Y.: *Elegant shadow making tiny force visible for water-walking arthropods and updated Archimedes' principle. Langmuir 32* (2016) 10522–10528 (doi: 10.1021/acs.langmuir.6b02922)
11. Hu D. L., Chan B., Bush J. W. M.: *The hydrodynamics of water strider locomotion. Nature 424* (2003) 663–666.
12. Gao X., Jiang L.: *Biophysics: water-repellent legs of water striders. Nature 432* (2004) 36–36.
13. Bush J. W. M., Hu D. L.: *Walking on water: biolocomotion at the interface. Annual Review of Fluid Mechanics 38* (2006) 339–369.
14. Kende Zoltán: *Kiskunhalas környéki hulladéklerakó jövőbeni kármentesítésének természetvédelmi szempontú hatásbecslése. Tájökológiai Lapok 11/1* (2013) 155–168. (kiadó: Szent István Egyetem, Környezet- és Tájgazdálkodási Intézet)
15. Rizmajer Erzsébet: *Ökológiai vizsgálatok alkalmazása a biológia tanításában*. Diplomamunka. ELTE Biológiai Intézet, 2003. 42 o. (témavezető: Kriska György)



**A szerkesztőbizottság fizika tanításáért felelős tagjai kéri mindazokat, akik a fizika vonzóbbá tétele, a tanítás eredményességének fokozása érdekében új módszerekkel, elképzelésekkel próbálkoznak, hogy ezeket osszák meg a Szemle hasábjain az olvasókkal!**