

# Savas eső mérése iskolai mérőhálózattal

RIEDEL MIKLÓS - HOBINKA ILDIKÓ

*A környezetvédelmi kultúra terjesztése az ifjúság körében alapvető fontosságú az ép és egészséges emberi környezet megteremtése, illetve visszaállítása szempontjából. Amennyiben a diákság aktívan részt vesz a természeti környezetet jellemző mennyiségeknek, így például a csapadék pH-jának, az ivóvíz nitrát- és nitrittartalmának, keménységének lehetőségeihez képest igényes méréseiben, várható, hogy a környezetvédelemnek is aktív cselekvőjévé kíván majd válni. Emellett hozzá szokik, hogy véleményét kísérleti tényekre alapozza, olyan mérésekre amelyeket - bizonyos korlátok között - maga is meg tud mérni. Így különbséget tud tenni az igaz, a téves vagy az esetleg torzított információk között.*

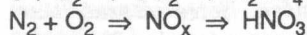
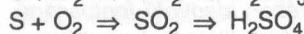
A környezet szennyezése igen sokféle eredetű, így forrása a szennyvíz, a műtrágyázás, a savas kibocsátások, az esetleges radioaktív szennyeződés, stb. A csapadék savassága, az ivóvizek nitrát- és nitritszennyeződése olyan környezeti paraméterek, amelyek az iskolák lehetőségei mellett is kielégítően és rendszeresen vizsgálhatók. Az 1990-ben életre hívott iskolai savas eső vizsgáló hálózatunk (Savas Eső Mérése Iskolai Mérőhálózattal, SEMI) munkájában mintegy 80 iskola vesz részt az országban aránylag egyenletes területi eloszlásban. Néhol az iskolák olyan, esetleg erősen szennyezett területeken vannak, ahol a hivatalos magyar savas esőmérő-hálózatnak nincsen állomása, így a sok mérőhely adatainak statisztikai elemzése értékes információkkal is szolgálhat az országban a helyi anomáliák felismeréséhez. Ilyen jellegű munka már más országokban is folyt, illetve folyik, így Németországban, Franciaországban, Angliában, az Egyesült Államokban, Japánban. Érdekességképpen megemlíthetjük, hogy a Németországban az akciót egy képes heti folyóirat szervezte.

## A savas eső

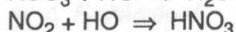
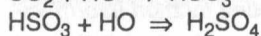
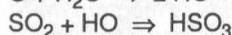
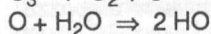
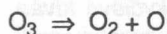
A savas esők világszerte súlyos környezetkárosodási problémát jelentenek. Ez ma-napság már mindenki számára egyre nyilvánvalóbbá válik. A savas eső kifejezés egyébként nem új: Robert Angus Smith használta először 1872-ben. Az esővíz növekvő savtartalma egyes területek felszíni vizeinek elsavasodásához, a fémion-koncentráció növekedéséhez, az élőlények pusztulásához, így például az erdők károsodásához, az épületek, szobrok stb. fokozott korróziójához vezet. Az erdők pusztulására jellemző, hogy a Fekete-erdőnek mintegy 1/3-a károsodott ez okból, a korróziós károk nagyságát Magyarországon pedig mintegy 100 millió \$-ra becsülik. (1)

A légkörben jelen lévő gázok közül a savas esőért a kén-dioxid ( $\text{SO}_2$ ), a különböző nitrogén-oxidok ( $\text{NO}_x$ ) és kis mértékben a  $\text{H}_2\text{S}$  a felelősek. (1. táblázat) A szélsébeséget és a tartózkodási időt is figyelembe véve a  $\text{NO}_x$ , a szénhidrogének eloszlása a

Föld légkörében lokális-regionális jellegű, a  $\text{SO}_2$  regionális-kontinentális, a  $\text{CO}_2$  kontinentális-globális (1. számpélda). A savasodást okozó anyagok részben természetes eredetűek (biogén képződés, vulkánok, zivatarok), részben az ember tevékenységének következményei, azaz ún. antropogén eredetűek (fosszilis tüzelőanyagok égetése). A  $\text{SO}_3 : \text{NO}_x$  arány a levegőben 3:1 (2. táblázat). A csapadék savtartalma (a természetes eredetű savas anyagok mellett) döntő mértékben a fosszilis tüzelőanyagok elégetésekor keletkező szén-dioxidnak, kén-dioxidnak és nitrogén-oxidoknak tulajdonítható. Ezek további oxidáció és vízzel való reakció révén szénsavvá, kénsavvá és salétromsavvá alakulva jelennek meg a csapadékban (2). Keletkezésük bonyolult reakciók sorozatában megy végbe, ennek a legrövidebbre egyszerűsített lényege az alábbi három folyamat:



Az oxidációs folyamatokban az ózon és az  $\text{OH}^\cdot$  szabad gyök játszik lényeges szerepet (3):



A gondok forrása nem maga az energiatermelés, hanem az ennek következtében képződő kémiai termékek.

A légkör összetétele megváltozik az energiatermelés következtében. A nitrogén és az oxigén természetesen fogy, mindez azonban emberi léptékekkel mérve csak végtelesen hosszú idő alatt lenne megfigyelhető (3. táblázat).

A csapadék savasságának mértékét a pH-jának megadásával jellemzik. A légkör szén-dioxid tartalmával egyensúlyt tartó tiszta víz pH-ja 5,6 a  $\text{CO}_2/\text{HCO}_3$ -egyensúly miatt, így ezt az értéket kell a csapadékok semlegességi pontjának tekinteni. A savas eső tehát  $\text{pH} < 5,6$ -os csapadék (2. számpélda).

A szén- és az olajfogyasztás a világon rohamosan nő. A légkörbe jutó  $\text{SO}_2$  mennyisége az utóbbi másfél évtizedben közel állandónak mutatkozik az erőművekben alkalmazott kénmegkötés miatt, a nitrogén-oxidok mennyisége azonban évi mintegy 4,4%-os növekedést mutat elsősorban a gyors (magas hőmérsékleten működő), korszerű robbanómotorok terjedése következtében (5,6) (1. ábra). Érdekes megemlítenünk, hogy a  $\text{NO}_x$  mennyisége 1900. óta a 7-szeresére növekedett (6,7).

A savasodást okozó anyagok antropogén képződése, és így a savas eső eloszlása a Földön nem egyenletes. Az erősen iparosodott vidékeken (Észak-Amerika, Európa) különösen nagy a savas szennyeződés, a nagyvárosokban akár 3,0–3,5 pH-jú eső is eshet. Ezek a veszélyeztetett területek a Föld mintegy 5%-át teszik ki. A szennyeződés mértékét az uralkodó szélirány is befolyásolja (2. ábra). Magyarországon az esők nagyobb hányadának pH-ja a 3,8–4,7 intervallumba esik, átlagos értéke nyugatról kelet felé 4,5-től 5,5-ig változik. Az országos átlag mintegy  $\text{pH}=4,6$  (5,8). (3. ábra) Vagyis az eső nálunk mintegy egy nagyságrenddel több savat tartalmaz, mint a semleges értékű, és Magyarország még így is közepesen szennyezett területnek számít. A teljes eső formájában és szárazon (a porokkal) kiülepedő sav mennyisége évenként  $1 \text{ m}^2$  területre számolva kb. 0,21 mol  $\text{H}^+$ -nak, azaz mintegy 8–10  $\text{cm}^3$  tömény kénsavnak felel meg (4. táblázat). Vessük össze a 4. táblázat nedves ülepedés adatával a savas eső által okozott savterhelés egyszerűsített számolásának eredményeit (3. számpélda).

*Savas Eső Mérése Iskolai Mérőhálózattal (SEMI)*

A nemzetközi meteorológiai szervezet a World Meteorological Organisation (WMO) hálózata világszerte telepített állomásokon gyűjti és elemzi a csapadékot, és egyik fontos feladata a pH és az ionösszetétel mérése a földrajzi hely valamint az idő függvényében (2). Magyarországon az első esővíz-összetétel vizsgálatok 1902-ből származnak (7), a rendszeres mérés 1965-ben kezdődött, a csapadék széleskörű kémiai és fizikai elemzéseit 1974-től végzik. A Központi Légekörfizikai Intézet laboratóriuma és az ország tíz regionális háttérszennyezettség-mérő állomása a WMO rendszerébe is be van kapcsolva. A legtöbb helyen havi összes csapadékot gyűjtő automatikus mérőrendszer működik, napi mintavételt csak egy helyen végeznek (6). Ennek a vizsgálat-sorozatnak az érdekesebb tapasztalatai (5, 6, 8): részint a már említett átlagos érték, amely a szulfát- és nitrátkoncentrációból becsülve akár kb.  $\text{pH}=3,8$  is lehetne a meszes talajok porának semlegesítő hatása nélkül; továbbá:

- lúgos esők ( $\text{pH}>5,6$ ) oka a meszes talajok pora,
- az ipari vidékeken várhatóan  $\text{pH}=3,5$ -ös eső is eshet,
- viharfront a savasság változásában nem mutatkozik meg,
- a téli és a nyári savas ülepedés között különbség van,
- bár mindehhez figyelembe kell venni, hogy a havi mintavétel miatt átlagolódás következik be.

Nyitott kérdések természetesen még adódnak, hogy néhányat említsünk:

- van-e valamilyen jellegzetesség egy-egy településen az évi ingadozásban, pl. a tüzelés megindulása folytán,
- milyen az egyes gyárak, ipari centrumok szerepe,
- okoz-e további savasodást az erőteljes autóforgalom,
- ad-e további információt az, ha sok helyen végeznek megfigyeléseket és pedig napi mintavétellel, stb.

E kérdésekre választ adhat a SEMI iskolai mérőhálózat. Az iskolák technikailag meg tudják valósítani a savas eső észlelését, és mindez tanulságos a diákoknak, az adatok pedig egy-egy településen érdekesek lehetnek a helyi és időbeli anomáliák szempontjából, stb.

*A csapadék pH-jának mérése*

A kis pufferkapacitású csapadékvíz pH-jának mérése számos nehézségekkel jár (9,10). Az üvegelektrodos mérés megfelelő kalibráció esetén kellően pontos ( $\pm 0,01$ ), kivitelezése azonban meglehetősen nagy gyakorlottságot igényel, és a szükséges felszerelés sem különösen olcsó. A mérés pontosságának ellenőrzésére az esővizet szimuláló, kis pufferkapacitású standardokat alkalmaznak. Bár 4,5-ös pH alatt a savasság megbízhatóan mérhető, a laboratóriumok közötti összehasonlító körelemzések  $\pm 0,4$ -es eltéréseket is mutattak (11). Az üvegelektrodos pH-mérés költségessége miatt az iskolák legtöbbje számára elérhetetlen, és az sem várható el, hogy az iskolák mérési gyakorlottsága a professzionális laboratóriumokéhoz hasonló legyen. Az iskolai mérőhálózat céljára a színindikátoros (indikátorpapírral történő) pH-meghatározás bizonyult megfelelőnek. Ez ugyan kevésbé pontos, de olcsó és kivitelezése egyszerű. Pontossága a legegyszerűbb kivitelezéssel is kb. 0,2–0,5 pH egység. Pontosabbá tehető reflexiós spektrofotometriás módszerrel áramoltatásos cellában (12), ez azonban esetünkben ismét csak nem jön számításba.

A színindikátor sav-bázis sajátága miatt maga is reakcióba lép az oldat  $\text{H}^+$ -ionjával. Az egyensúly – tehát a végleges szín beállta – a kis ionkoncentráció miatt hosszú

időt (1/2 - 6 óra) is igénybe vehet. Ezen idő alatt nem szabad, hogy a festék az indikátorpapírból kioldódjék. E célra az utóbbi időben forgalomba hozott, a festéket nem ereszítő (nicht blutend, non-blöeding) indikátor alkalmas. Ebben a készítményben az indikátor festékanyag (azofesték) kovalens kötéssel van a hordozópapírhoz kötve, és így tetszés szerinti hosszú áztatás után sem távozik el a festék a hordozópapírból (13). Egy-egy csík igen sokszor felhasználható, mérések közben desztillált vízzel ki lehet áztatni. Egy papírcsíkon mintegy  $5 \cdot 10^{-9}$  mol festék van, ez egy szokásos mennyiségű ( $5-10 \text{ cm}^3$ ) és savasságú esőmintában  $10^{-6}-10^{-7}$  mol hidrogénionnal találkozik. Vagyis a vasnak csak néhány %-a reagál el a mérés kapcsán. (Hasonló eredményt adtak a spektrofotometriás vizsgálatok is (12).) Tájékoztatásul az 5. táblázatban megadjuk néhány indikátor jellemző adatait. (5. táblázat)

A SEMI iskolai savasesőmérő-hálózat mérési technikájának kidolgozására meghatároztuk az indikátor és az esővíz közötti egyensúly beállításához szükséges időt. A gyári adatokkal (10 perc) ellentétben ehhez minimálisan 1-2 óra kell. Megvizsgáltuk a kiválasztott MERCK indikátort (No. 8584) esővízstandardokkal, és átlagban  $\pm 0,5$  pH-eltérést tapasztaltunk. Üvegelektóddal mérve ugyanazt az oldatot gyakran  $+0,2...+0,5$  pH-eltérést tapasztaltunk. Ez és az indikátorok osztásköze behatárolja az alkalmazott eljárás pontosságát (14, 15, 16).

A SEMI program munkájában jelenleg az ország 76 iskolája vesz részt Magyarországon szinte minden tájáról aránylag egyenletes területi eloszlásban (5. ábra). Az országos vizsgálat sorozat 1990. szeptembere óta folyik. Az adatokat az iskolák maguk is értékelik, a nagy mennyiségű összegyűlt adat összesítő feldolgozása most folyik. Az országos eloszlásból már most levonható az a következtetés, hogy a vizsgált időszakban az országban 3,0 és 7,5 között mindenféle pH-értékű savas eső előfordult jelentős helyi és időbeli szórással. Az átlag 4,0-4,5 közé esik.

Budapesten 1989. óta végzünk rendszeres méréseket a SEMI program keretében egy belső, de zöldövezeti területen. Napi mintavételt alkalmaztunk, és a csapadékhullás után azonnal mérjük a pH-t az indikátorpapíros módszerrel és összehasonlításként gyakran üvegelektóddal is. 1989. február 1-től 1991. november 14-ig összesen 143 esőmintát fogtunk fel és vizsgáltuk meg. A mért értékek 3,0-7,5 közé estek, az átlag  $\text{pH}=4,5$ , ami közel azonos az 1978. és 1982. között a hivatalos országos hálózat által mért átlaggal (6), bár sokkal nagyobb arányban tapasztaltunk 4,0 alatti pH-értékeket. Az eredményeket a 6. ábra és a 6. táblázat mutatja be.

### További környezeti kémiai vizsgálatok

A SEMI program keretében 1991-től az iskolák közreműködésével további egyszerűen kivitelezhető, ám tanulságos és hasznos környezeti kémiai vizsgálatokat is végzünk:

- a települések ivóvizének nitrát- és nitrattartalmának félkvantitatív vizsgálatát,
- az ivóvíz keménységének meghatározását.

Az ivóvizek nitráttartalmának oka lehet a túltrágyázás, a fekáliaszennyezés, a szerves anyagok lebomlása, stb. Ugyanezek okozhatják a zöldségeknek a megengedettnél magasabb nitráttartalmát is. Az európai norma az ivóvízben max.  $50 \text{ mg/dm}^3$  nitrátot engedélyez. A nitrát maga ugyan veszélytelen, de a szervezetben mikrobiológiai úton nitríté redukálódhat, amely az aminokkal nitrózamint képezhet. Ez rákkeltő tulajdonságú vegyület, bár a rizikófaktora ma még nehezen felbecsülhető. Másrészt a nitrát a hemoglobint oly módon oxidálhatja, hogy az már nem lesz képes többé a normális oxigéntranszportra.

Ez a hatás a csecsemőknél halálos lehet. A nagyfokú veszélyessége miatt az ivóvízben csak  $0,01 \text{ mg/dm}^3$ -nél kevesebb nitrít a megengedett.



A víz keménysége, amelyet a  $\text{Ca}^{2+}$  - és a  $\text{Mg}^{2+}$  -ionok okoznak önmagában természetes jelenség, azonban a foszfáttartalmú mosószereknek és a vízlágyítóknek a szükségesnél nagyobb mértékű alkalmazása már jelentős környezetszennyezést okoz. A keménység mérésével biztosítható a minimálisan szükséges mosószert vagy vízlágyítószer adagolása. A víz keménységének régi egysége a német keménységi fok ( $\text{nk}^\circ$ ), melynek átszámolása SI-re:  $1 \text{ mmol/dm}^3 = 5,6 \text{ nk}^\circ$ , illetve  $1 \text{ nk}^\circ = 0,18 \text{ mmol/dm}^3$ .

A nitrát- és nitrittartalom meghatározására használt egyszerű módszer lényege (13) egy diazofesték előállítására, és a keletkezett termék színereőségének összehasonlítása egy színskálával. Festék mennyiségét, így a színereőséget a víz nitrát-, illetve nitrit-tartalma határozza meg. A vizsgálat kivitelezését az teszi rendkívül egyszerűvé, hogy a reakció egy megfelelően preparált szűrőpapírcsíkcsonkán játszódik le (7. ábra). A keménységvizsgálat ugyancsak egy preparált csíkkal történik, amelynek öt kis mezőjében a vízbe való bemártást követően lényegében egy komplexometriás reakció játszódik le részben alutitrált részben túltitrált állapotot eredményezve (8. ábra). Az eljárások olyan egyszerűek, hogy a kémiai iránt érdeklődő diákok minden nehézség nélkül el tudják végezni az elemzéseket. A módszerek tájékoztató jellegűek, félkvantitatív eredményt adnak.

A SEMI programban végzett vízvizsgálati adatok összevetése minden bizonnyal érdekes és tanulságos lesz a diákok és az iskolák számára is.

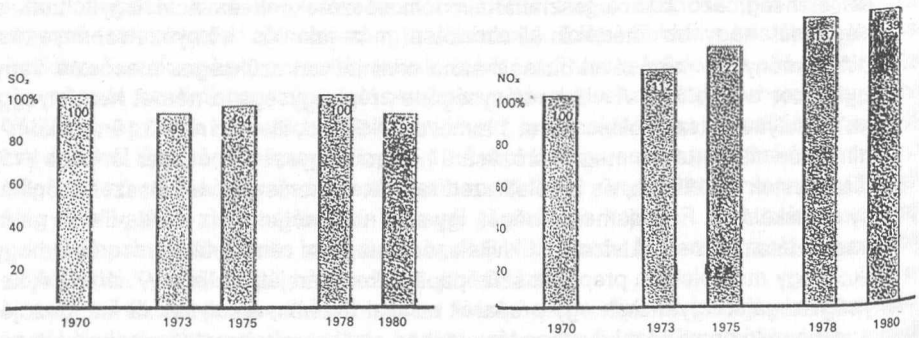
#### Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak Horváth Lászlónak (Központi Légkörfizikai Intézet) az értékes tanácsokért és segítségért, továbbá a *Pro Renovanda Cultura Hungariae Alapítványnak és a Környezetvédelmi és Településfejlesztési Minisztériumnak* a munka anyagi támogatásáért.

#### IRODALOM

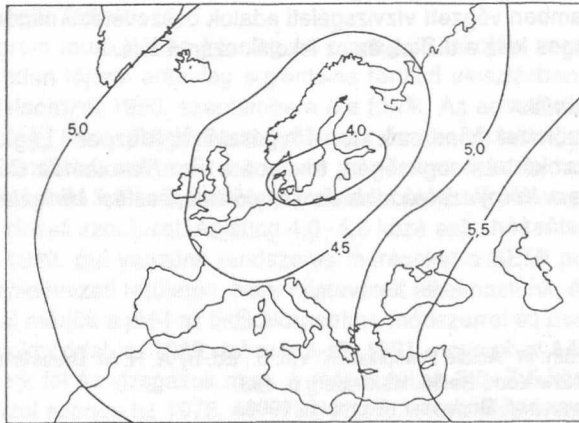
1. I. Pais, L. Horváth: in "Acidic Precipitation" Vol. 5., Ed. by A. H. M. Bresser and W. Salomons, Springer Verlag, New York, Berlin, Heidelberg p. 193.
2. Horváth L.: *Savas eső*. Budapest, Gondolat. 1986.
3. V. A. Mohnen: *A savas eső*. Tudomány, 1988. október, 10. old.
4. Mészáros I., Majos Gy., Horváth L.: *Időjárás 88* (1984) 339.
5. Horváth L.: *Kandidátusi értekezés*, Budapest, 1988.
6. Horváth L., Mészáros E.: *Időjárás 90* (1986) 143
7. Kazay E.: *Időjárás 8* (1904) 301
8. L. Horváth, E. Mészáros: *Atmospheric Environment 18* (1984) 1843.
9. A. K. Covington, P. D. Whalley, W. Davison: *Pure Appl. Chem. 57* (1985) 877
10. W. Davison: *Trend in Anal. Chem. 9* (1990) 80.
11. Fucskó J.: *Doktori értekezés*, BME, Budapest, 1988.
12. B. A. Woods, J. Ruzicka, G. D. Christian, R. J. Charlson: *Anal. Chem. 58* (1986) 2496.
13. *Merckoquant-Tests*, E. Merck, Darmstadt, é. n.
14. Hobinka I., Riedel M.: *Fiz. Szemle. XL* (1990) 123
15. I. Hobinka, M. Riedel, B. Jávorszky: *Int. Conf. on Energy Alternatives/Risk Education*, Vol. I., Ed. by G. Marx, National Centre for Educ. Technol., Veszprém, 1989., p. 199.
16. Riedel M.: *Kémia tanárok 14. Orsz. Konferenciája*, Szombathely 1990.

Ábrák



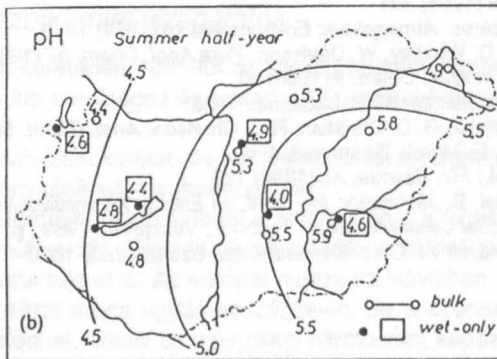
1. ábra

A kén-dioxid és a nitrogén-oxidok kibocsátásának növekedése az emberi tevékenység következtében 1970 és 1980 között.



2. ábra

A csapadékvíz pH-jának területi eloszlása Európában az 1979-es adatok alapján (4).

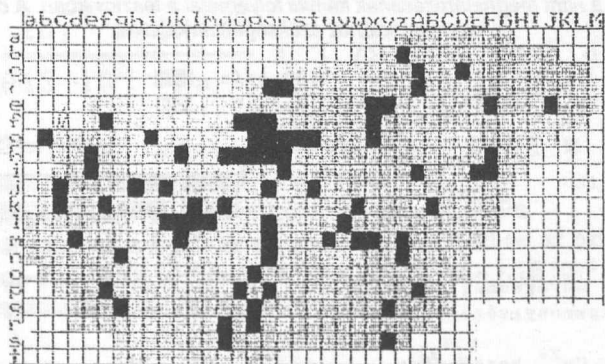


3. ábra

A csapadékvíz pH-jának területi eloszlása Magyarországon az 1984-ben közölt adatok szerint (8).

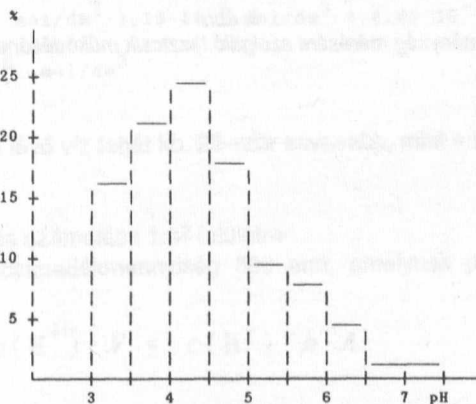


4. ábra  
A mintavételi állomások Magyarországon (6).



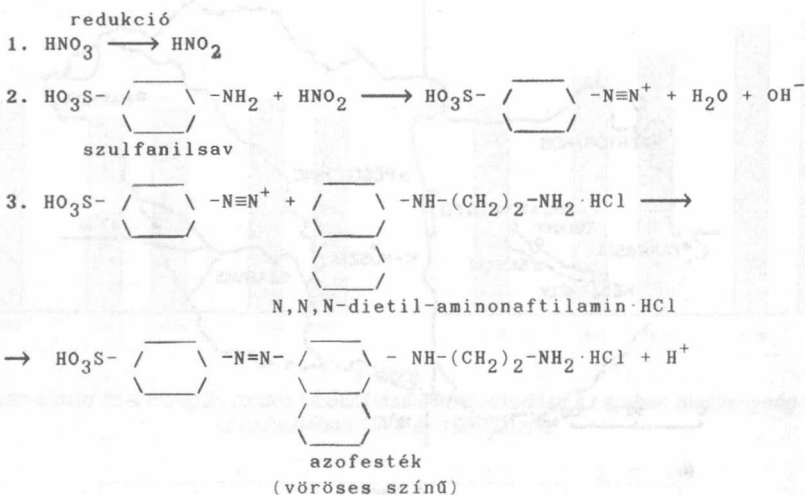
5. ábra

A SEMI iskolai savas eső mérő programban részt vevő iskolák elhelyezkedése Magyarországon.





6. ábra

A csapadékminták pH-jának gyakorisági eloszlása 1989. február 1. és 1991. november 14. között Budapesten a SEMI program keretében mérve (143 adat alapján).



7. ábra

A nitrát, illetve a nitrit meghatározásának kémiai folyamatai a tesztcsíokban. A csík tartalmazza a színreakcióhoz szükséges anyagokat.

$(\text{Ca}^{2+}) \cdot \text{indikátor} \longrightarrow$  vörös szín   
 $(\text{Ca}^{2+}) \cdot \text{EDTE} + \text{indikátor} \longrightarrow$  zöld szín 

a tesztcsík



indikátor anyagmennyisége	25	25	25	25	25
EDTE anyagmennyisége a csíkban	5	10	15	20	25
15 egység $\text{Ca}^{2+}$ hozzáadása után maradó $\text{Ca}^{2+}$ anyagmennyisége	10	5	0	0	0

(az anyagmennyiség önkényes egységekben)

8. ábra

A vízkeménység mérésére szolgáló tesztcsíkok működésének vázlatja.



## Számpéldák

## 1. számpélda

A gázok elterjedési távolsága egy átlagos szélességet feltételezve

 szélesség  $v = 3\text{ m/s}$ 

 idő  $t = 2 \text{ nap} = 170.000 \text{ s}$ 

 távolság  $s = v \cdot t = 3\text{ m/s} \cdot 170.000 \text{ s} = 518 \text{ km} \approx 500 \text{ km}$ 

## 2. számpélda

A levegővel egyensúlyban lévő víz pH-ja

 A  $\text{CO}_2$  oldhatósága vízben  $p = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  nyomáson és  $T = 293 \text{ K}$  hőmérsékleten 1000 g vízben 1,69 g  $\text{CO}_2$ . 1000 g víz térfogatát tekintjük  $1\text{ dm}^3$ -nek, így a vízben a  $\text{CO}_2$  koncentrációja

$$c = \frac{1,69 \text{ g}}{44 \text{ g/mol}} = 3,84 \cdot 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$$

 Ebből a gázoldhatóságra vonatkozó Henry-törvény ( $c = k \cdot p$ ) arányossági tényezője

$$k = \frac{3,84 \cdot 10^{-2} \text{ mol/dm}^3}{1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}} = 3,79 \cdot 10^{-7} \cdot \text{mol} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{Pa}^{-1}$$

 A levegő  $\text{CO}_2$  tartalma:  $\varphi = \frac{V(\text{CO}_2)}{V(\text{összes})} = 0,03 \% = 3 \cdot 10^{-4}$ 

 tehát a parciális nyomása:  $p = 3 \cdot 10^{-4} \cdot 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 30,39 \text{ Pa}$ 

 A Henry-törvény szerint a légkörrel egyensúlyban lévő vízben az oldott szén-dioxid koncentrációja  $c = k \cdot p = 3,79 \cdot 10^{-7} \cdot \text{mol} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot 30,39 \text{ Pa} = 1,15 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 

 A szén-sav disszociációjának  $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ 

 egyensúlyi állandója:  $K_c = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = 4,2 \cdot 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 

Ebből a hidrogénion-koncentráció:

$$[\text{H}^+]^2 = 4,2 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3 \cdot 1,15 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3 = 4,83 \cdot 10^{-12} \text{ mol}^2/\text{dm}^6$$

$$[\text{H}^+] = 2,19 \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3$$

 azaz  $\text{pH} = 5,66$ 

 A nyitott edényben lévő víz tehát kb. 25-ször savasabb, mint a tiszta  $\text{H}_2\text{O}$ .

## 3. számpélda

 A savszennyeződés számolása  $1\text{ m}^2$  felületre

 Legyen az éves csapadékmennyiség 800 mm, amelynek pH-ja 4,0. A  $\text{H}^+$  -ion anyagmennyisége:

$$n = c(\text{H}^+) \cdot V = c(\text{H}^+) \cdot h \cdot A$$

$$\frac{n}{A} = 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} \cdot 800 \frac{\text{mm}}{\text{év}} = 0,08 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3 \cdot \text{év}}$$

Táblázatok

1. táblázat  
A légkört alkotó gázok

állandó vagy változó komponens-e	gázok	tartózkodási idő
állandó	N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , nemesgázok	több ezer év
változó	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	4-25 év
erősen változó	H <sub>2</sub> O, NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub>	2-10 nap

2. táblázat  
A savasodást okozó anyagok eredet szerinti %-os megoszlása a légkörben

eredet	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
természetes	30-40	60
antropogén	60-70	40
összesen	100	100

3. táblázat  
A légkör összetételének változása a tüzelőanyagok jelenlegi ütemben való égetése esetén  
A tüzelőanyagok összes becsült mennyisége 6·10<sup>17</sup> mol (4).

anyag	anyagmennyisége a légkörben	egy év alatt megkötődik, ill. képződik	teljes megkötődés, változás
N <sub>2</sub>	2,8·10 <sup>20</sup> mol	1,3·10 <sup>12</sup> mol	10 <sup>8</sup> év
O <sub>2</sub>	3,8·10 <sup>19</sup> mol	3,0·10 <sup>14</sup> mol	2000 év alatt 2%
CO <sub>2</sub>	6,0·10 <sup>16</sup> mol	3,0·10 <sup>14</sup> mol	2000 év alatt 10-szeres.

4. táblázat  
A savas ülepedés mértéke Magyarországon (1984) (6)

	H <sup>+</sup> -ion mol/m <sup>2</sup> · év		
	száraz	nedves ülepedés	összes
SO <sub>2</sub>	0,07	0,07	0,14
NO <sub>x</sub>	0,05	0,02	0,07
összesen	0,12	0,09	0,21

5. táblázat  
Néhány Merck gyártmányú ún. Szpecialindikator (nicht blutend) adatai (13)

Katalógusszám	pH-tartomány	osztásköz	színváltás
9541	2,5-4,5	0,2-0,5	sárga-kék
9542	4,0-7,0	0,2-0,5	vörös-narancs
9584	2,9-9,0 (3 mezőben)	0,5	sárga-zöld sárga-kék vörös-sárga

6. táblázat  
A SEMI program keretében Budapesten 1989. február 1.-1991. november 14. mért savas esők pH-jának %-os eloszlása. Összehasonlításként megadjuk a hivatalos magyar mérőszárhálózat által 1977-1980 között mért adatokat. (Horváth L., Mészáros E. (6).)

pH-tartomány	SEMI	%
3,0 - 3,99	37,0	6
4,0 - 4,99	42,5	31
5,0 - 5,99	15,4	41
6,0 - 6,99	4,2	18
7,0 - 7,99	0,7	4